

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Володимир ЄРЕМЕНКО

«___» _____ 2020р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Метрологія та вимірювальна техніка»

спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

на тему: «Ультразвукова система вимірювання рівня рідини або сипучих матеріалів»

Виконав (-ла):

студентка IV курсу, групи ВМ-61-1

Садик Неллі Амер _____

Керівник:

Доцент, к.т.н., доцент

Мокійчук Валентин Михайлович _____

Консультант з назва розділу:

Посада, науковий ступінь, вчене звання,

Прізвище, ім'я, по батькові _____

Рецензент:

Доцент, к.т.н., доцент

Добролюбова Марина Валеріївна _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «Ультразвукова система вимірювання рівня рідини або сипучих
матеріалів»

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

Освітньо-професійна програма «Метрологія та вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Володимир ЄРЕМЕНКО

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Садик Неллі Амер

1. Тема проекту «Ультразвукова система вимірювання рівня рідини або сипучих матеріалів», керівник проекту Мокійчук Валентин Михайлович, доцент, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «25» травня 2020 р. № 1180.

2. Термін подання студентом проекту 15 червня 2020р.

3. Вихідні дані до проекту:

3.1 Вимірювана відстань від 100 см до 500 см

3.2 вимірювання температури від 0 до 50 градусів (відносна похибка - 2%)

3.3 вимірювання вологості в діапазоні від 20% до 80% (абсолютна похибка – не більше 5%)

4. Зміст пояснювальної записки:

4.1 Вступ

4.2 Технічне завдання

4.3 Стан проблеми та напрямки їх рішення

4.4. Структурна схема ультразвукової системи вимірювання рівня рідини або сипучих матеріалів

4.5. Функціональна схема ультразвукової системи вимірювання рівня рідини або сипучих матеріалів

4.6 Огляд даних аналогів

4.7 Вибір модуля проектування ультразвукової системи вимірювання

4.8 Принципова схема ультразвукової системи вимірювання рівня рідини або сипучих матеріалів

4.9 Розрахунок і оцінка метрологічних похибок

4.10 Розробка працюючого макету вимірювача

4.11 Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):

5.1 Структурна схема

5.2 Принципова схема

5.3 Функціональна схема

6. Дата видачі завдання 05 лютого 2020 р.

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання дипломного проекту | Термін виконання етапів проекту | Примітка |
|-------|---|---------------------------------|----------|
| 1 | Вибір вимірювачів (сенсорів) | 25.02.2020 | |
| 2 | Розробка структурної схеми | 15.03.2020 | |
| 3 | Розробка функціональної та принципової схем | 10.04.2020 | |
| 4 | Написання коду | 20.04.2020 | |
| 5 | Збирання макету вимірювача | 25.04.2020 | |
| 6 | Розробка процедури та проведення калібрування | 05.05.2020 | |
| 7 | Обчислення метрологічних характеристик виробу | 10.05.2020 | |
| 8 | Висновки | 20.05.2020 | |
| 9 | Оформлення дипломного проекту | 25.05.2020 | |

Студент

Неллі САДИК

Керівник



Валентин МОКІЙЧУК

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

[illegible]

| | | | | | | |
|-----------|---------------|-------|------|---------------------------------|---|--------|
| | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | | |
| | ПІБ | Підп. | Дата | Відомість дипломного проекту | Лист | Листів |
| Розробн. | Садик Н.А. | | | | 1 | 1 |
| Керівн. | Мокийчук В.М. | | | | КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ПБФ Гр. ВМ-61-1 | |
| Консульт. | | | | | | |
| Н/контр. | Морозова М.М | | | | | |
| Зав.каф. | Єременко В.С | | | | | |

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: «Ультразвукова система вимірювання рівня рідині або сипучих матеріалів»

Київ – 2020 року

Аннотация

Пояснительная записка к ДП «Ультразвуковой датчик измерения уровня жидких и сыпучих материалов» содержит 72 страниц, 22 иллюстрации и 11 библиографических ссылок.

Цель проекта – разработка рабочего ультразвукового датчика измерения уровня жидких и сыпучих материалов.

В работе выполнен обзор прототипов датчиков и микроконтроллеров по теме проекта, сформулированы задачи проектирования и его решения. Рассмотрены особенности разных видов датчиков и микроконтроллеров, представлена структурная, функциональная и принципиальная схемы управления измерением.

В работе часто задействованы методы компьютерного программирования с учетом последующего повторного использования. Результаты работы могут быть использованы при разработке датчиков измерения расстояния.

Ключевые слова: датчик, ультразвуковой, датчик температуры и влажности, Arduino, HC-SR04, Arduino Nano, жидкокристаллический дисплей LCD 1602, измерение расстояние до объекта

Annotation

The explanatory note to the DP “Ultrasonic sensor for measuring the level of liquid and bulk materials” contains 72 pages, 22 illustrations and 11 bibliographic references.

The aim of the project is to develop a working ultrasonic sensor for measuring the level of liquid and bulk materials.

The work provides an overview of the prototypes of sensors and microcontrollers on the topic of the project, formulates design tasks and its solutions. The features of different types of sensors and microcontrollers are considered, the structural, functional and basic schemes of measurement control are presented.

Computer programming methods are often involved in the work, taking into account subsequent reuse. The results can be used in the development of distance measurement sensors.

Keywords: sensor, ultrasonic, temperature and humidity sensor, Arduino, HC-SR04, Arduino Nano, LCD 1602, measuring the distance to the object

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

УЗ – ультразвуковой

УЗД – ультразвуковой датчик

Вх/раб – входное рабочее

Кол-во – количество

In/Out – аналоговые выводы

IO/PWM – цифровые выводы

EEPROM – электрически стираемая энергозависимая память с возможностью перепрограммирования

SRAM – статическая энергозависимая память с произвольным доступом

UART – универсальный асинхронный приемопередатчик

PWM – широтно-импульсная модуляция (ШИМ) управляет средним значением напряжения на нагрузке через изменения скважности импульсов

Flash-память – энергозависимая память, которая допускает многократную перезапись всего содержимого

SDA – линия данных

SCL – линия синхронизации

См – сантиметры

Мкс – микросекунды

POE – (Power over Ethernet)

Serial monitor – последовательная шина

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 5 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ВВЕДЕНИЕ

Почти во всех отраслях производства, а также в повседневной жизни возникает необходимость измерения расстояния от измерителя до объекта, с максимальной скоростью, с наименьшей погрешностью и без непосредственного участия в процессе измерения и на расстоянии. В производстве часто невозможно находиться вблизи измеряемого объекта из-за токсичности или объектов с высокой температурой. Большая погрешность возникает при измерениях из-за особенностей рельефа или из-за того, что необходимо проводить измерения через малые промежутки времени. Именно для этих целей применяются различные датчики.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 6 |

1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

Существуют датчики, основанные на разных принципах измерения, а именно, активные и пассивные. Активные датчики в свою очередь подразделяются на:

- вибрационные
- световые
- лазерные
- звуковые
- ультразвуковые.

Данные виды активного измерения используются чаще всего, потому что основаны на принципе измерения расстояния путем наведения на объект и отправки выбранного сигнала, который достигнет до объекта и вернется в чувствительный элемент датчика. При этом датчик рассчитает расстояние до объекта на основе затраченного времени прохождения сигнала туда и обратно. Все эти действия датчик может делать самостоятельно и выводить данные на дисплей или монитор, за которым сидит наблюдатель.

Из всех перечисленных видов измерения активными дальномерами, был выбран ультразвуковой измеритель. Потому что данный тип измерения обладает высоким качеством, простотой в использовании и имеет не высокую расчетную цену. Также он имеет большой спектр использования в практике: в медицине, в работе, на производстве, на заводах, в разных хобби, в обычной жизни и в обучении. Так же благодаря тому, как и каким образом ультразвук распространяется в среде, то можно определить ее физические характеристики: влажность, температуру, влажность, плотность, загрязнённость и другие параметры.

Характеристики часто применяемых дальномеров представлены в табл.1

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 7 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Характеристика дальномеров

| Название | Диапазон измерения, [м] | Точность, [%] | Угол зрения, [°] | Увеличение, [x] | Источник питания, [В] |
|-------------------------|-------------------------|---------------|------------------|-----------------|-----------------------|
| HC-SR04 | 0.12-55 | до 0.02 | от 15 до 45 | в 10 | 5-7 |
| Nikon LRF 550A S | 1.5-30 | до 0.12 | от 30 до 45 | в 5 | 15 |
| Bosch PLR 50 | 1-45 | до 5 | от 30 до 45 | в 5 | 5-10 |
| BOSCH PLR50 C | 0,5-50 | до 0.02,2 | от 20 до 45 | в 5 | 7-10 |
| Veber 6x26 LR 1500 | 2-40 | до 0.12 | от 10 до 30 | в 0 | 15 |

Исходя из приведенных факторов выбираем ультразвуковой измеритель расстояния. Таким образом видно, что узд Arduino лучшее по своим характеристикам для ультразвуковой системы измерения уровня жидкости или сыпучих материалов.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 8 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ ИЛИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Была разработана структурная схема ультразвуковой системы измерения уровня жидкий или сыпучих материалов сводится к измерению уровня (высоты) материала в известном, по площади, бункере. Структурная схема приведена на рис. 1.

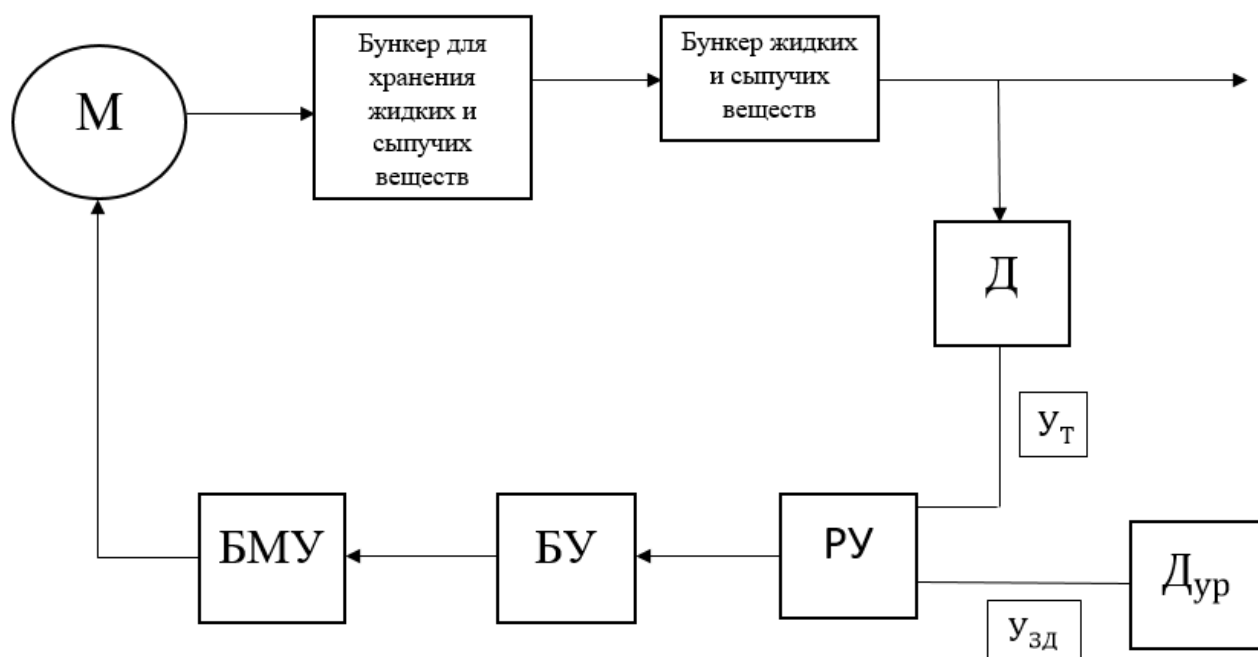


Рис.1. Структурная схема ультразвуковой системы измерения

У – параметр уровня щепы в бункере;

У_Т, У_{зд}– текущее и заданное значение параметра уровня;

Д – датчик уровня;

РУ – регулирующее устройство;

БМУ – блок механического управления;

М – мотор.

2.1. Описание структурной схемы ультразвуковой системы измерения

Объект управления воздействует на датчик уровня, который имеет блокировки по верхнему и нижнему уровню. Датчик передает сигнал на регулирующее устройство, имеющий второй вход, куда подаётся заданное значение уровня. В регуляторе сравниваются два воздействия. Образуется разностная величина, которая с помощью блока механического управления воздействует на исполнительный механизм подачи от бункера хранения жидких или сыпучих материалов в бункер жидких или сыпучих материалов. Блокировка по верхнему уровню останавливает подачу и предотвращает в бункере «пересып» и поломки.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 10 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

3. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ ИЛИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Была разработана функциональная схема ультразвуковой системы измерения уровня жидкости или сыпучих материалов представленная на рис. 2.

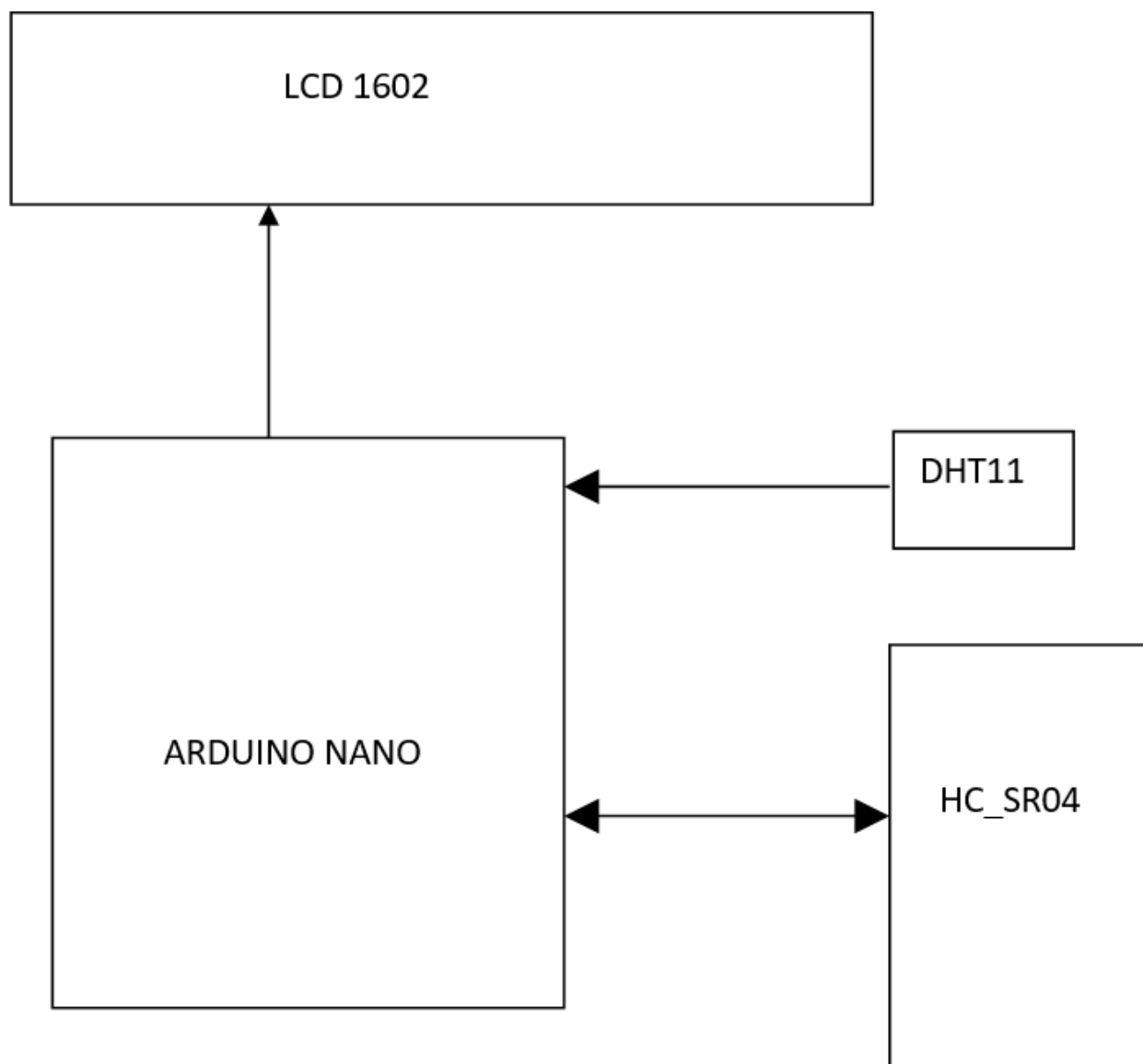


Рис.2. Функциональная схема ультразвуковой системы измерения

| | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

BM611.42157.001 ПЗ

| |
|-------|
| Аркуш |
| 11 |

3.1. Принцип работы ультразвуковой дальномер HC-SR04

Ультразвуковой дальномер — это датчик, который измеряет расстояние собственно от самого датчика до ближайшего объекта. Работает данный датчик по единому принципу – эхолокация. Для примера в животном мире таким принципом активно пользуются дельфины, летучие мыши и тюлени. Эхолокация – это способ, где положение объекта в пространстве определяется при помощи генерации звуковых (или вибрационных) импульсов и затем рассчитывает за затраченное время расстояние до объекта по задержке возвращенного эха или его сопутствующих эхо импульсов. Дельфины используют эхолокацию для ориентации и передвижении в водном пространстве, а также для охоты и общения. Они гортанью издают своеобразные пощелкивания или посвистывания, которые отражаются от объектов и дают информацию об объектах вокруг них, а именно местности, силы течения, состояние воды. Звук передается через звуковые косточки дельфинов.

В нашем случае генерируются ультразвуковые импульсы. Наглядно принцип работы можно увидеть ниже на рис. 3. Для нормальной работы дальномера недостаточно иметь только генерирующую часть и приемник, еще нужен передатчик, который смонтирован напротив приемника или находится в одном корпусе с ним. А также обвязки, которые обеспечивают нормальную работу модуля.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 12 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

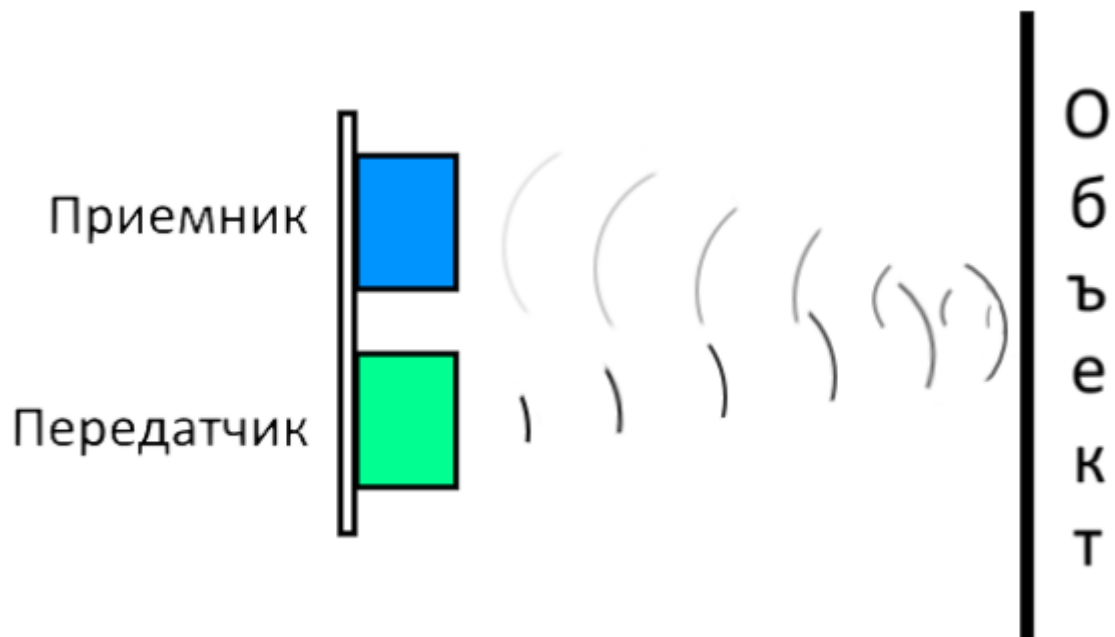


Рис.3. Принцип работы узд с вертикальной поверхностью

Рассмотрим составляющие ультразвукового дальномера HC-SR04 на отладочной плате STM32VLDISCOVERY от Arduino. На рис. 4 [3] представлен ультразвуковой дальномер HC-SR04.

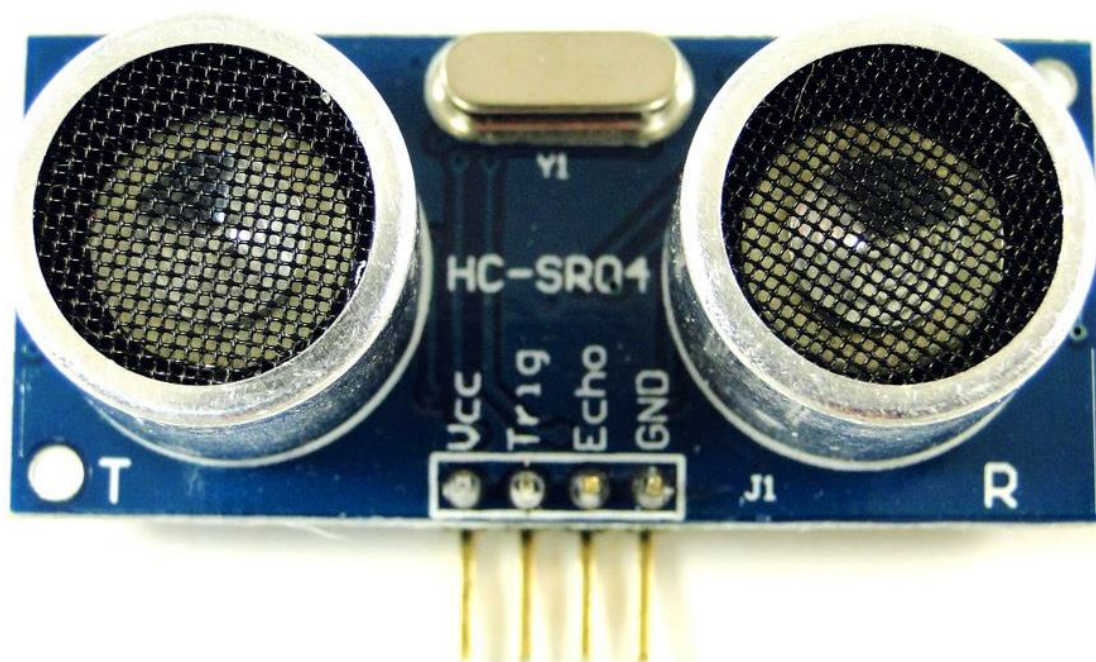


Рис.4. Ультразвукового дальномера HC-SR04 (вид сверху)

На схеме дальномера (рис.4-5) представлены следующие обозначения [3]:

- Т – transmitter (самый левый датчик на плате с пометкой Т и есть передатчик ультразвукового сигнала).
- Vcc – положительный контакт питания.
- Trig – цифровой вход, на который необходимо подать импульс или логическую единицу для запуска отсчета. Стандартно это 10 мкс, с последующим запуском через 50 мс (считается, что это идеальное время для прохождения сигнала и обработки полученных данных с одного такта без влияния погрешности).
- Echo – цифровой выход, на который подается импульс отраженного сигнала, длительностью пропорционально расстоянию до объекта.
- GND – отрицательный контакт питания или земля.
- R – resiver (самый правый датчик с пометкой R и есть приемник ультразвукового сигнала, отраженного от ближайшего измеряемого объекта).

Данный датчик обладает следующими характеристиками и свойствами [4]:

- Напряжение питания: 5 В. Модель HC-SR04 + работает в диапазоне от 3,3 - 5В (помечено как HC-SR04 + на задней стороне платы модуля).
- Потребление в режиме тишины: 2 мА.
- Потребление при работе: 15 мА.
- Максимальная частота опроса датчика: 20 Гц (Период опроса 50 мс).
- Частота ультразвука: 40 кГц (п).
- Дальность обзора: 0,02 – 4 м (приоритетная дальность 1,8 м).
- Разрешение (градация выходного сигнала): $0,3 \cdot 10^{-2}$ м.
- Эффективный угол наблюдения: 15° .
- Рабочий угол наблюдения: 30° .
- Вес — 8,28 г.
- Размеры (Д*Ш*Г): 45*20*15 мм (Ш без учета контактов подключения).

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 14 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

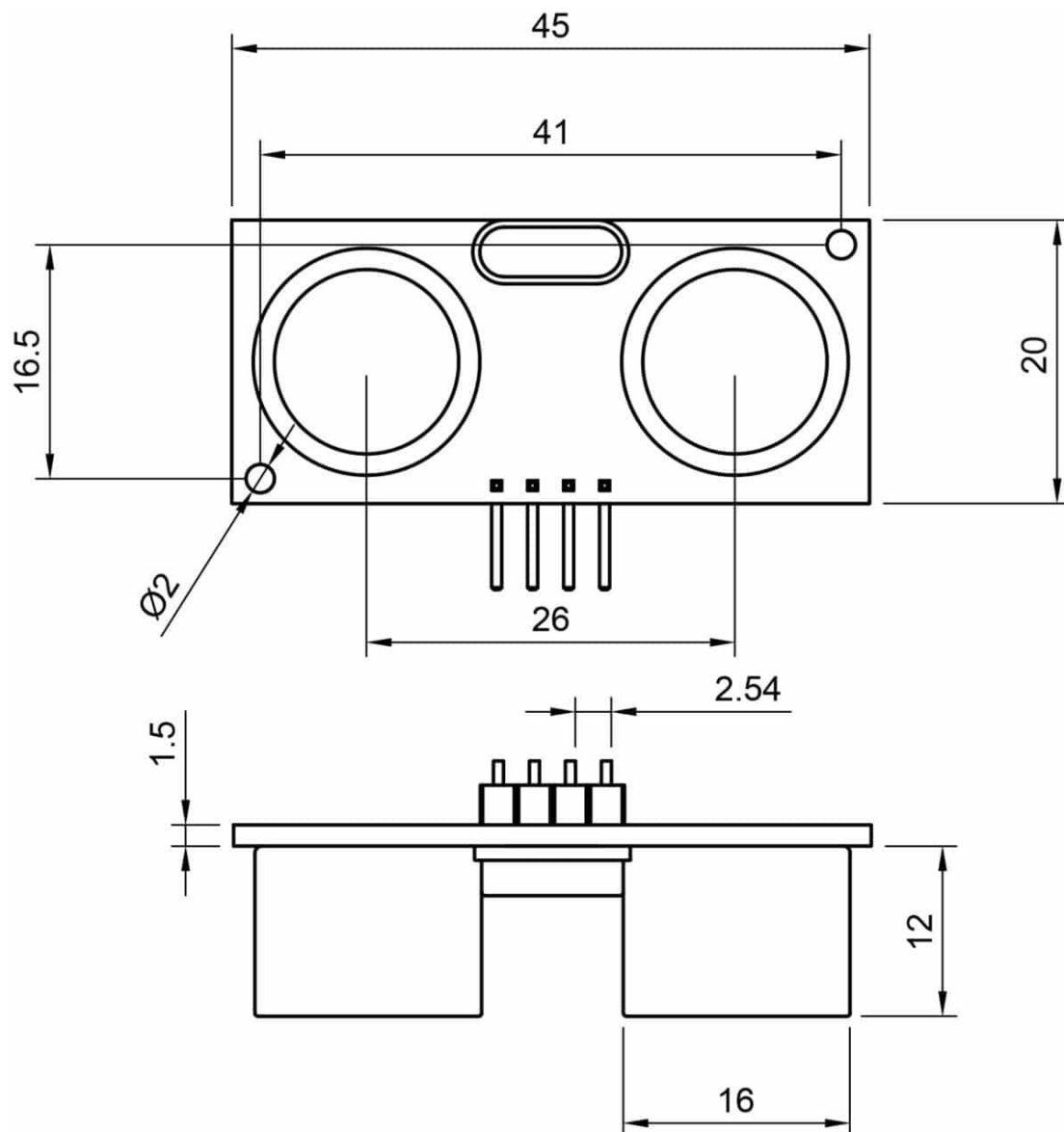


Рис.5. Графическое изображение ультразвукового дальномера HC-SR04

Данный датчик имеет следующие недостатки, например:

- не рекомендуется подключать или заливать скетч непосредственно, когда сама плата, к которой мы подключаем, находится под напряжением (напряжение больше 5В). Сначала нужно включить вывод «земля», а потом подключать плату (иначе КЗ);
- большая погрешность возникает, если больше 4 м при чрезмерной так же у датчика при испытании на дальность и точность может быть выявлена большая погрешность, если расстояние больше 4 метров, а сама поверхность чрезмерно мягкая, бугристая и меньше 0.4 квадратных метров.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 15 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Сила сигнала зависит от расстояния и качества отражающей поверхности. Например, объект находится на расстоянии больше 7м и у него малая отражающая поверхность (это не значит зеркальная), то сила, отраженный сигнал значительно ослабевает. Эта особенность обусловлена тем, что именно, в данном типе датчика ультразвуковой сигнал распространяется широко направленной волной в 30° , как показано на рис.6 [4].

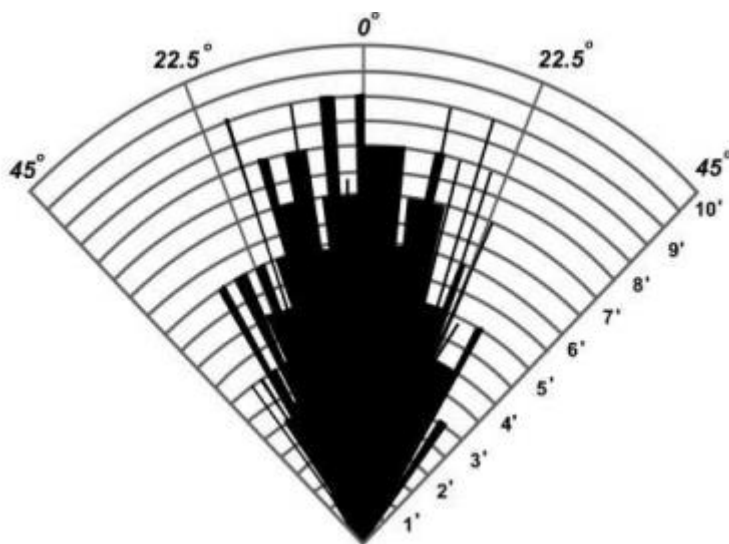


Рис. 6. Диаграмма направленности звукового сигнала

Как видно из рис.6 наиболее эффективный угол измерения это 15° . Если посторонние объекты будут в поле действия этого угла, то увеличиваются погрешность и уменьшается точность измерения.

Несмотря на то, что на показания ультразвуковых дальномеров не влияют блики солнца или разнo насыщенный цвет и свет объектов, в отличии от тех же инфракрасных датчиков измерения, частичные отражения с боков угла измерения (по-другому эхо сигнала) может наложиться на основную волну и исказить результаты измерения вплоть до невозможности самим датчиком считывать информацию и выводить ее на экран. Причиной, как я выше уже обозначала, может стать наклоненные, мягкие, зыбкие или другие криволинейные, мелкозернистые и пушистые поверхности.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|-------|
| | | | | | ВМ611.42157.001 ПЗ | Аркуш |
| | | | | | | 16 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Как показано на рис. 7, угол падения на объект или нахождение объекта в пространстве так же влияет на измерение. Если датчик стоит параллельно отражаемой поверхности, то показания будут идеально точными. Но если та же самая поверхность будет наклонена (рис.5) и угол падения волны будет тоже больше 45° , то отраженный сигнал либо вовсе не попадет в приемник, либо попадет эхо-сигнал, что приведет к неверному измерению и влиянию погрешности.

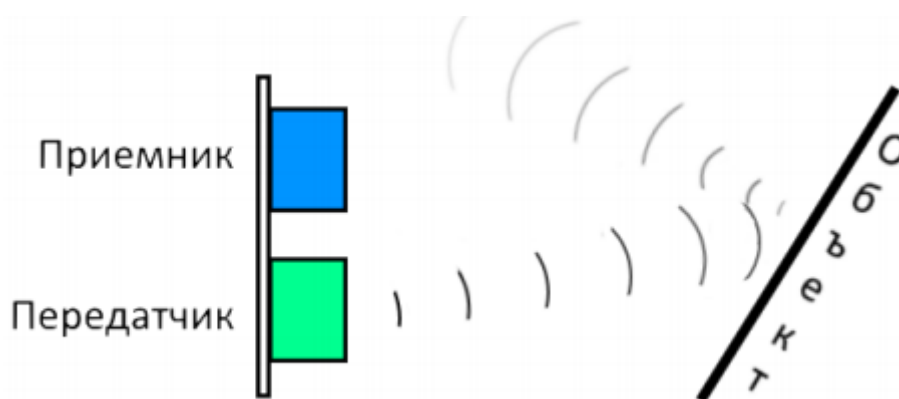


Рис. 7. Принцип работы ультразвукового дальномера с наклонной поверхностью

Доказано, что изоляционные материалы или звукопоглощающие поверхности точно таким же образом могут поглотить и, впоследствии, ослабить сигнал. Это приводит к проблеме считывания информации и вывода результата на экран, и увеличивает погрешность измерений.

На точность измерения значительно влияют высокая влажность (испарина, дождь, снег или туман) или плотная загрязненность воздуха песком или другими мелкими частицами. Так как проходящий сигнал может частично отражаться от всех этих мелких преград и создавать отзеркаленный или частично отраженный сигнал, что приводит к паразитному эхо-сигналу или ложному эхо-сигналу, который будет либо накладываться на основной, либо препятствовать ему же..

3.2. Программируемые отладочные платы Arduino

Все платы Arduino имеют компактный размер, несмотря на то, что на ней помещаются разные компоненты, конфигурации и платы расширения для работы. Главным микроконтроллером, который имеется в любой плате Arduino и является ее «семейной» чертой является ATMEGA8 или ATMEGA168.

Существует 6 версий платформ Arduino [4]:

- Последняя версия Leonardo базируется на микроконтроллере ATmega32u4.
- Uno, как и Duemilanove построены на микроконтроллере Atmel ATmega328.
- Старые версии платформы Diecimila и первая рабочая Duemilanoves были разработаны на основе Atmel ATmega168.
- Более ранние версии использовали ATmega8.
- Arduino Mega2560 единственная, которая построена на микроконтроллере ATmega2560.

Хочется отметить, что везде распространяется одна лицензия ShareAlike 3.0 Creative Commons Attribution, что означает, работая с платами Arduino я могу свободно делиться своими наработками, изменять или создавать что-то новое.

3.1.1. Версии платформы Arduino

Ниже в табл. 2 представлены пять технических характеристик, часто используемых плат Arduino

Таблица 2.

Технические характеристики плат Arduino

| Наименование | Микроконтроллер | Вх/раб Напряжение | Частота процессора | Кол-во IO/PWM | Кол-во In/Out | Заметки |
|--------------|-----------------|----------------------|-----------------------|------------------|------------------|---------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Uno | ATMe | 5В/7 | 16 МГц | 14/06 | 6/0 | Самая |

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 18 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------|-------------------------|-----------------|--------|-------|-----|--|
| | ga328 | - 12В | | | | популярная версия с USB. Похожа на Duemilanova, но имеет более новый чип ATmega8U2. Так же может быть дополнена пользовательскими платами расширения |
| Nano | ATmega328 или ATmega168 | 5В/7 - 9В | 16 МГц | 14/06 | 8/0 | В сравнении с другими платформами, считается очень компактной. Подключается к |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------|------------|------------------------------------|--------|-------|----|---|
| | | | | | | компьютер у или источнику питания через USB Mini-B. |
| Leonardo | ATmega32u4 | 5 В/7-12 В 6-20 В предельное | 16 МГц | 20 /7 | 12 | Последняя версия платформы Arduino на ATmega32u4 микроконтроллере. Отличается разъемом microUSB, по размерам совпадает с UNO. |
| Duemilanove | ATmega168 | 5 В/7-12 В 6-20 В предельное | 16 МГц | 14 /6 | 6 | Это предпоследняя версия базовой платформы Arduino USB. |

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 20 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------|--------------------|--|--------|-------|----------|--|
| | | ое | | | | Подключен ие с помощью стандартно го кабеля USB. Так же может быть дополнена пользовате льскими платами расширени я |
| Dieci mila | ATme ga168 | 5 В/7- 12 В 6-20 В пред ельн ое | 16 МГц | 14/6 | 6 | Предыдуща я версия базовой платформы Arduino USB |
| Mega2 560 | ATme ga256 0 | 5В/7 - 12В | 16 МГц | 54/15 | 16/ 0 | Новейшая версия платы серии Mega |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------|------------|------------------------------------|--------|----------|-----|---|
| Mini | ATmega168 | 5 В/ 7-9 В | 16 МГц | 14/06 | 8/4 | Самая маленькая макетная платформа Arduino. |
| Micro | ATmega32u4 | 5 В/7-12 В 6-20 В предельное | | 20/ 7 | 12 | Новейшее компактное решение на базе ATmega32u4. |

3.2.2. Платы расширения

Это дополнительные расширения, которые устанавливаются на платформы и расширяют функциональность:

- Xbee Shield обеспечивает беспроводную связь нескольким устройствам Arduino в помещении до 35 метров и вне помещения до 90 метров
- Плата расширения Ethernet Shield обеспечивает подключение к интернету
- Плата расширения WiFi используется для соединения с беспроводными сетями

3.2.3 Другие сопутствующие устройства

Вообще с Arduino и для него придумали и адаптировали много сопутствующих устройств, которые расширяют возможности программирования, а в особенности конструирования проектов, роботов или устройств, которые

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 22 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

выходят за рамки изначально придуманного проекта. Ниже приведены примеры разработок, которые были сделаны в симбиозе с Arduino, и которые показывают глубину возможностей данного конструктора. Вот некоторые из них:

- Проект Digispark по выпуску дешевой, открытой, микропроцессорной платы разработки, совместимой с Arduino, с встроенным USB, 6 входами / выходами, SPI, I2C, PWM и ADC.
- BotBoarduino на основе Duemilanove, совместимый с Arduino, который разделяет все контакты на сервоприводах для легкого подключения датчиков и сервоприводов. Также имеет три светодиода, три кнопки, пьезо-зуммер и сильный подтягивающий резистор на выводе 6 специально для подключения контроллера PS2 к проекту. Все дополнения включены через перемычки и легко удаляются.
- Io: Arduino-совместимый на базе Duino AT90CAN128, который предлагает встроенную поддержку шины CAN; особенно нацелены на моделирование железных дорог и интернет-приложений.
- Мышечные (EMG) датчики - Мышечные / электрокимографические (EMG) датчики для управления вашим следующим проектом, просто сгибая ваши мышцы
- GinSing - синтезатор звука и голоса
- LCD Shield Адаптерный экран, который обеспечивает интерфейс Arduino для 4D систем. Модули LCD с сенсорным экраном

3.3 Характеристики связи и памяти Arduino UNO и Arduino NANO

Перейдем к более детальному разбору Arduino Uno и Arduino Nano, так как данные платы, более подходят к ультразвуковой системе измерения уровня жидкости или сыпучих материалов. В табл. 3 представлены характеристики связи и памяти двух плат.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 23 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таблица 3.

Характеристики связи и памяти Uno и Nano

| Наименование | ОЗУ | EEPROM (Кбайт) | Flash (Кбайт) | UART |
|--------------|--|--|---|------|
| Uno | 2Кб (ATmega328) | 1 Кб (ATmega328) | 32 Кб (ATmega328) из которых 0.5 Кб используются для загрузчика | 1 |
| Nano | 1Кб (ATmega168) или 2Кб (ATmega328) | 512 байт (ATmega168) или 1 Кб (ATmega328) | 16 Кб (ATmega168) или 32 Кб (ATmega328) при этом 2 Кб используются для загрузчика | 1 |

Для поставленной задачи проектирования ультразвуковой системы измерения уровня жидкости или сыпучих материалов, а также из информации в табл. 2 и 3, выбираем базовый модуль Arduino Nano AVR ATmega328 (Arduino Nano 3.0). Отличие от Arduino Uno в том, что отсутствует силовой разъем постоянного тока и работает через стандартный кабель, благодаря чему можно подключать к повербанку, ноутбуку или компьютеру. Arduino Nano может получать питание

через подключение Mini-B USB, или от нерегулируемого 6-20 В (вывод 30), или регулируемого 5 В (вывод 27), внешнего источника питания. Автоматически выбирается источник с самым высоким напряжением. Каждый из 14 цифровых выводов Nano, используя функции pinMode(), digitalWrite(), и digitalRead(), может настраиваться как вход или выход. Выводы работают при напряжении 5 В. Каждый вывод имеет нагрузочный резистор (стандартно отключен) 20-50 кОм и может пропускать до 40 мА.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 25 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

4. ВЫБОР МОДУЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Выбираем среду программного обеспечения Arduino, так как это идеальный, простой и дружелюбный в использовании инструмент для проектирования разных гаджетов по собственной задумке и своими руками без посторонней помощи. По-другому Arduino можно назвать электронным конструктором – лего, который может действовать и сосуществовать или влиять на окружающую физическую среду. Это нечто большее, чем обычный программный код в виртуальном пространстве, который чаще всего не выходит за границы компьютера, на котором он был набран.

Все платы Arduino имеют собственные процессоры и память, а также до пары десятков контактов, которые дают возможность подключать разные компоненты, для подачи и получения сигналов от цифровых и аналоговых датчиков. В моем случае это жидкокристаллический дисплей (LCD) 1602, ультразвуковой дальномер HC-SR04 и датчик влажности и температуры DHT11. Добавочные компоненты могут быть не из линейки Arduino или дочерно- производимым устройством, то есть компонент может быть куплен и пристроен извне или от других фирм, так и сделан или спрограммирован своими руками.

В Arduino после создания устройства или инструмента можно залить новый скетч и перепрограммировать под что-то иное или оставить, как обособленный инструмент. В некоторых случаях Arduino может самостоятельно работать с такими программами, как Flash, MaxMSP и другими.

Программный язык, который используется для написания кода, так же называется Arduino, который использует известный C++/C. Одно лишь, Arduino имеет дополнения простыми и понятными функциями для управления выводом или вводом контактов, а в некоторых проектах даже сделанными по умолчанию библиотекам.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 26 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Поскольку основной язык похож и имеет некоторые элементы C++/C, то некоторые используют Visual Studio для написания кода и последующей загрузки скетча на плату. Для проектирования ультразвуковой системы измерения уровня жидкости или сыпучих материалов была выбрана визуальная среда программирования Arduino IDE. Благодаря этой программе написание кода и заливка скетча упрощаются.

4.1. Базовый модуль ARDUINO NANO AVR ATMEGA328

После выбора базового модуля ультразвуковой системы измерения уровня жидкости или сыпучих материалов, переходим к можно перейти ниже, программируемой отладочной платы микроконтроллера AVR ATmega328 (Arduino Nano 3.0), которые представлены на рис. 8.

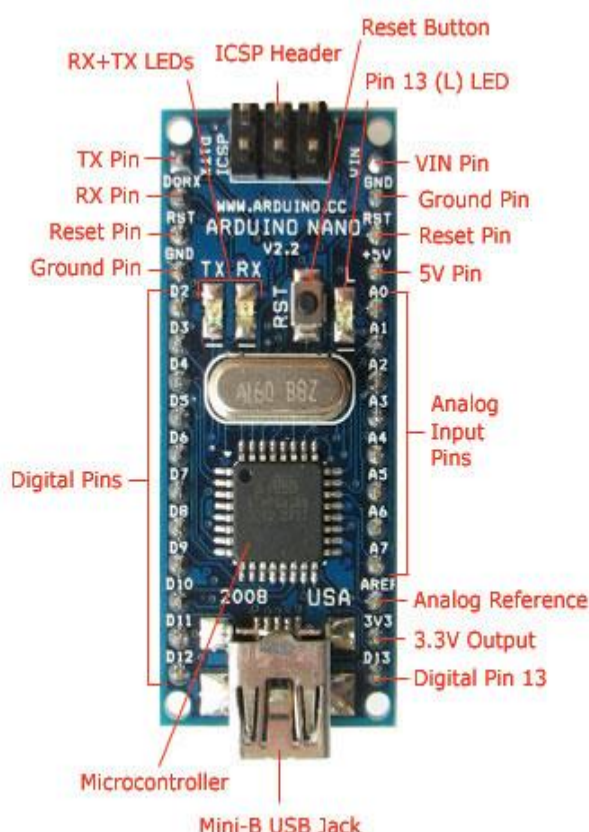


Рис. 8. Плата микроконтроллера AVR ATmega328 (вид сверху)

Начиная с верхнего левого угла лицевой стороны, плата состоит из [10]:

- TX Pin – Последовательная шина 0, которая используется для передачи данных TTL. Обычно данный вывод подключен к шине FTDI USB-to-TTL.
- RX Pin – Последовательная шина 1, которая используется для получения данных TTL. Обычно данный вывод подключен к шине FTDI USB-to-TTL.
- Reset Pin – (RST) Низкий уровень сигнала перезапускает микроконтроллер
- Ground Pin – (GND)
- Digital Pins – 3, 5, 6, 9, 10, и 11. Любой из выводов обеспечивает ШИМ с разрешением 8 бит при помощи функции analogWrite().
- Digital Pins – (SPI) 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Посредством данных выводов осуществляется связь SPI (поддерживается аппаратной частью, но не включена в язык Arduino).
- Digital Pins – LED: 13. Встроенный светодиод, который загорается, когда значение на выводе имеет высокий потенциал.
- Тут же установлены 8 аналоговых входов, каждый разрешением 10 бит (принимает до 1024 различных значения). Стандартно выводы имеют диапазон измерения до 5 В относительно земли, тем не менее имеется возможность изменить верхний предел посредством функции analogReference().
- I2C: A4 (SDA) и A5 (SCL). Посредством выводов осуществляется связь I2C (TWI). Для создания используется библиотека Wire.
- AREF. Опорное напряжение для аналоговых входов. Используется с функцией analogReference().

4.1.1. Связь

На платформе Arduino Nano (рис.9) установлено несколько устройств для осуществления связи с компьютером, другими устройствами Arduino или микроконтроллерами. ATmega328 поддерживают последовательный интерфейс UART TTL (5 В), осуществляемый выводами 0 (RX) и 1 (TX). Установленная на

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 28 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

плате микросхема FTDI FT232RL (рис.8) направляет данный интерфейс через USB, а драйверы FTDI (включены в программу Arduino) предоставляют виртуальный COM порт программе на компьютере. Мониторинг последовательной шины (Serial Monitor) программы Arduino позволяет посылать и получать текстовые данные при подключении к платформе. Светодиоды RX и TX на платформе будут мигать при передаче данных через микросхему FTDI или USB подключение (но не при использовании последовательной передачи через выводы 0 и 1).



Рис. 9 Плата микроконтроллера AVR ATmega328 вид снизу

Библиотекой SoftwareSerial создается последовательная передача данных через любой из цифровых выводов Nano.

ATmega168 и ATmega328 поддерживают интерфейсы I2C (TWI) и SPI. В Arduino включена библиотека Wire для удобства использования шины I2C. Более

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 29 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

подробная информация находится в документации. Для использования интерфейса SPI обратитесь к техническим данным микроконтроллеров ATmega168 и ATmega328.

4.1.2. Программирование

«Платформа программируется посредством ПО Arduino. Из меню Tools > Board выбирается «Arduino Diecimila, Duemilanove или Nano w/ ATmega168» или «Arduino Duemilanove или Nano w/ ATmega328» (согласно установленному микроконтроллеру). Микроконтроллер ATmega328 поставляется с записанным загрузчиком, облегчающим запись новых программ без использования внешних программаторов. Связь осуществляется оригинальным протоколом STK500.

Имеется возможность не использовать загрузчик и запрограммировать микроконтроллер через выводы блока ICSP (внутрисхемное программирование)» [10].

4.1.3. Автоматическая (программная) перезагрузка

«Nano разработана таким образом, чтобы перед записью нового кода перезагрузка осуществлялась самой программой, а не нажатием кнопки на платформе. Одна из линий FT232RL, управляющих потоком данных (DTR), подключена к выводу перезагрузки микроконтроллераов ATmega168 или ATmega328 через конденсатор 100 нФ. Активация данной линии, т.е. подача сигнала низкого уровня, перезагружает микроконтроллер. Программа Arduino, используя данную функцию, загружает код одним нажатием кнопки Upload в самой среде программирования. Подача сигнала низкого уровня по линии DTR скоординирована с началом записи кода, что сокращает таймаут загрузчика.

Функция имеет еще одно применение. Перезагрузка Nano происходит каждый раз при подключении к программе Arduino на компьютере с ОС Mac X или Linux

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 30 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

(через USB). Следующие полсекунды после перезагрузки работает загрузчик. Во время программирования происходит задержка нескольких первых байтов кода во избежание получения платформой некорректных данных (всех, кроме кода новой программы). Если производится разовая отладка скетча, записанного в платформу, или ввод каких-либо других данных при первом запуске, необходимо убедиться, что программа на компьютере ожидает в течение секунды перед передачей данных». [10]

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 31 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

5. ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ ДИСПЛЕЙ (LCD) 1602 И ARDUINO

Не всегда имеется возможность выводить итоги расчетов в программе Arduino. Поэтому необходимо использовать жидкокристаллические дисплеи, которые довольно часто применяются в проектах Arduino, в связи с необходимостью автономно выводить информацию на экран пользователю. Работающих с Arduino дисплеев очень много, но самым эргономичными для использования я лично выделяю жидкокристаллический дисплей (LCD) 1602.

Основные достоинства:

- достаточно низкая цена,
- готовая библиотека в Arduino Beб
- встроенный переходник, который облегчает подключение всего лишь до 4 пинов,
- цветовые модификации (возможность менять яркость или подсветку).

К недостаткам данного дисплея можно:

- дисплей имеет всего 16 цифровых вводов (рис. 10), при том, что 6 обязательно заняты. Поэтому работа без обязательной i2c не представляется возможной.
- всего 2 строки по 18 символов.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 32 |



Рис.10. Выводы жидкокристаллического дисплея (LCD) 1602

Назначение выводов [11] :

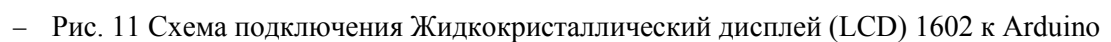
- земля gnd ;
- питание 5 в;
- команда, данные;
- записывание и чтение данных;
- enable;
- линии данных;
- плюс подсветки;
- минус подсветки

Технические характеристики дисплея [11]:

- символьный тип отображения, есть возможность загрузки символов;
- светодиодная подсветка;

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 33 |

- Была разработана Схема подключения жидкокристаллический дисплей (LCD) 1602 к Arduino представленная на рис.11



5.1.1. Описание протокола I2C

Данный протокол создавался для связи внутренних микросхем (связанных интегральным способом) рабочего электронного устройства. 8 битная шина – это основа всего протокола, которая нужна для связи блоков в управляющей электронике с системой адресации. Это дает возможность одним проводом соединяться с несколькими устройствами одновременно.

Чаще всего схема данного протокола будет содержать лишь одно главное устройство (обычно шефствует устройства семейства Arduino) и дополнительные под ведомые. Но, двух устройств с одним и тем же адресом (которых от 7-127) не должно быть в проекте.

В работе I2C можно выделить несколько преимуществ:

- для работы требуется всего 2 линии – SDA и SCL,
- для управления всем набором устройств требуется только один микроконтроллер,
- подключение большого количества ведущих приборов,
- высокая степень сохранности данных из-за специального фильтра, подавляющего всплески, встроенного в схемы,
- шина уже интегрирована во все семейства Arduino.

Недостатки:

- существует емкостное ограничение на линии – 400 пФ
- трудное программирование контроллера I2C, если на шине имеется несколько различных устройств,
- при большом количестве устройств возникает трудности локализации сбоя, если одно из них ошибочно устанавливает состояние низкого уровня.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 35 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

5.1.2 Библиотеки для работы с I2C LCD дисплеем

Для взаимодействия Arduino с LCD 1602 по шине I2C потребуются как минимум две библиотеки [11]:

- библиотека Wire.h для работы с I2C, но она уже имеется в стандартной программе Arduino IDE,
- Библиотека LiquidCrystal_I2C.h (которой я лично воспользуюсь в моем коде).

Описание функций и методов библиотеки LiquidCrystal_I2C:

- home() и clear() – первая функция позволяет вернуть курсор в начало экрана, вторая тоже, но при этом удаляет все,
- write(ch) – позволяет вывести одиночный символ ch на экран,
- cursor() и noCursor() – показывает/скрывает курсор на экране,
- blink() и noBlink() – курсор мигает/не мигает (если до этого было включено его отображение),
- display() и noDisplay() – позволяет подключить/отключить дисплей,
- scrollDisplayLeft() и scrollDisplayRight() – прокручивает экран на один знак влево/вправо,
- autoscroll() и noAutoscroll() – позволяет включить/выключить режим авто прокручивания,
- leftToRight() и rightToLeft() – установка направление выводимого текста – слева направо или справа налево.

5.1.2.1. Проблемы подключения I2C LCD дисплея

Иногда бывает, что после загрузки скетча на плату на дисплее не появляются никакие надписи или экран, не светится, то стоит сделать пару контрольных шагов, которые либо исправят проблему, либо докажут, либо докажут, что дисплей бракованный или неправильно припаяно или вписали библиотеку.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 36 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Для исправления этого недостатка:

- уменьшить или увеличить контрастность дисплея,
- проверить правильность подключения конатктов (неправильно подключено питание или перепутать подключение + или – на плате),
- проверить пайку,
- проверить правильность адресов устройства в скетче,
- проверит подключенные устройства (запустить стандартный blink-скетч).

Главное достоинство выбранного жидкокристаллического дисплея (LCD) 1602 – сведение к нулю неправильность к подключения Arduino.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 37 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

6. ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ DHT11 и DHT22

Для измерения температуры и влажности окружающей среды были выбраны для рассмотрения датчики DHT11 и DHT22. Данные датчики широко используются не только в проектах Arduino, но и в более серьезные проекты (механизированные роботы, некоторые искусственные интеллекты, алгоритмы, умный дом).

Они имеют сравнительно малую стоимость, доступность в понимании и программировании, достаточную точность в измерениях и легкость в использовании, что перекрывает их недостатки низкую скорость обработки и иногда ложные измерения.

6.1 Характеристики датчиков DHT11 и DHT22

Сравнительные характеристики датчиков DHT11 и DHT22 представлены в табл. 4. Для сравнения были выбраны модели, которые имеют внутри ёмкостной датчик температуры и гигрометр. Внутренний чип каждого может выполнять аналогово-цифровые измерения и выдавать цифровой сигнал, считываемый микроконтроллер, а также находящиеся в пластиковом корпусе и в полной сборке.

Таблица 4.

Сравнения характеристик датчиков DHT11 и DHT22

| Тип датчика | Сила тока, [мА] | Потребляемое напряжение, [В] | Влажность, [%] | Погрешность, [%] | Габариты, [мм] д*ш*в | Температура, [°C] | Частота, [Гц] | Коннектор |
|-------------|-----------------|------------------------------|----------------|------------------|----------------------|-------------------|---------------|-----------|
|-------------|-----------------|------------------------------|----------------|------------------|----------------------|-------------------|---------------|-----------|

| | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|--|--|-------|
| | | | | | ВМ611.42157.001 ПЗ | | | Аркуш |
| | | | | | | | | 38 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | |

| | | | | | | | | |
|-----------|-----|--------------------|-------------------|--------------|---------------------|---|-----------|---------|
| DHT1 1 | 2,5 | от 3 до 5 | от 20 до 80 | от 2 до 5 | 15,5* 12 *5,5 | 0 до 50 (точн ость — 2%) | До 1 | 4 \ 0,1 |
| DHT2 2 | 2,5 | от 3 до 5 | от 0 до 100 | от 2 до 5 | 15,1* 25* 5,5 | -40 — 125 (точн ость — 0,5%) | до 0,5 | 4 \ 0,1 |

По данным табл. 4 датчик DHT22 лучше и надежнее, чем DHT11. Однако предпочтение было отдано датчику DHT11, из-за компактности, большей точности измерения, более широкого диапазона измерения (влажность и температура), и более привлекательной цены.

7. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ ИЛИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Была разработана принципиальная схема ультразвуковой системы измерения уровня жидкости или сыпучих материалов представленная на рис.12.

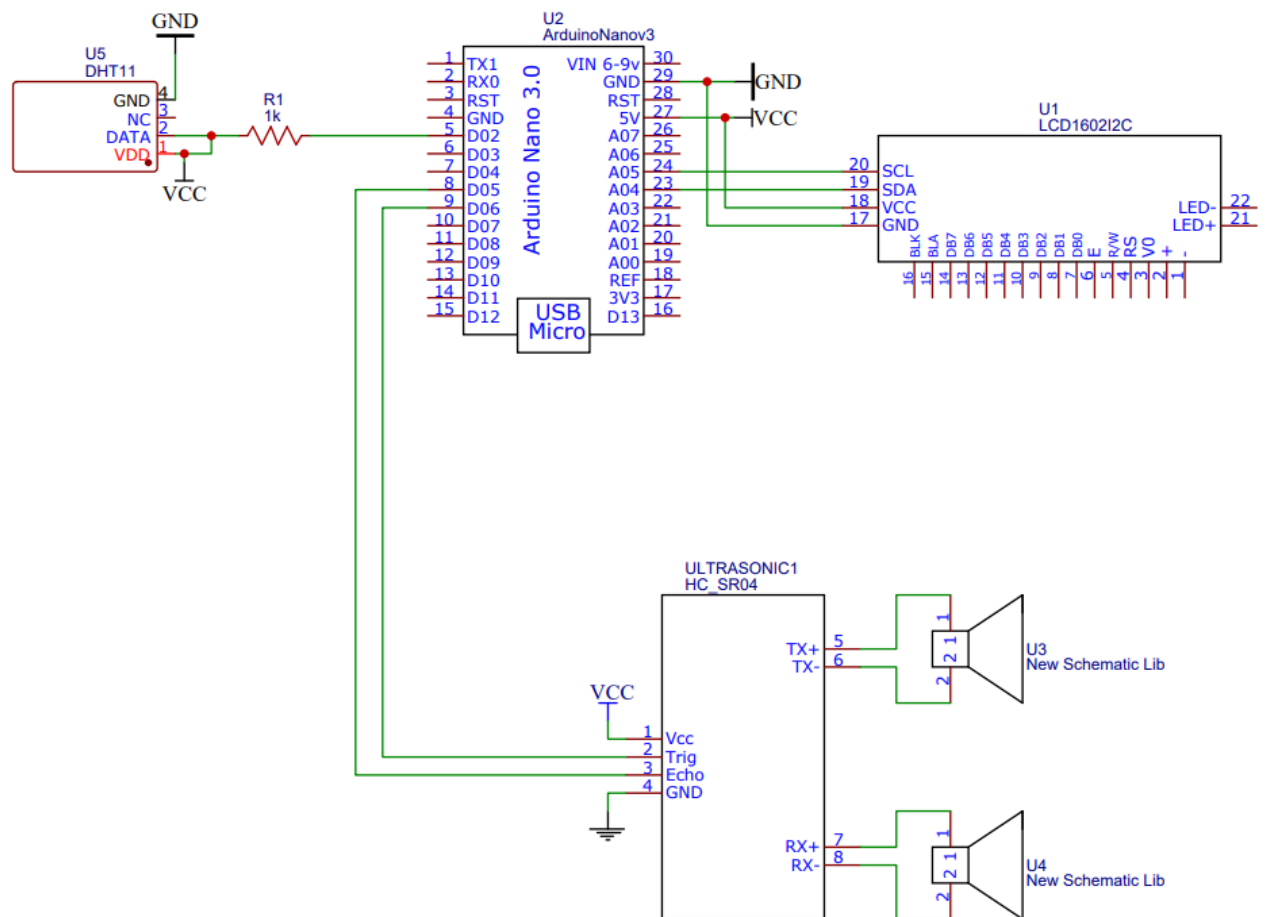


Рис 12. Принципиальная схема ультразвуковой системы

После детального ознакомления с ультразвуковым датчиком измерения расстояния HC-SR04 можно собственно перейти к самой задаче: собрать устройство, которое способно измерять уровень и расстояние до плоскости жидких и сыпучих мелкозернистых веществ с помощью ультразвукового дальномера HC-SR04 на программной базе Arduino.

Но для того чтобы начать создавать код-программу или собирать само устройство, нужно выбрать микроконтроллер, который будет выполнять основную задачу. Таким образом мы переходим к аппаратным платформам Arduino.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 41 |

8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА

После того, как мы детально познакомились с каждой частью ультразвуковой системы измерения уровня жидкости или сыпучих материалов, нам нужно выстроить принцип работы датчика измерения расстояния и датчика влажности-температуры.

Один из элементов датчика (генерирующий элемент) излучает ультразвуковую волну в виде импульса длительностью 10 микросекунд, а второй элемент датчика (приемник) принимает эту же уже отраженную от объекта волну. Измеряется время задержки этого всего пути, затем вычисляется расстояние. Вся информация, собранная подается на ножку Echo датчика, длительностью пропорциональной расстоянию до препятствия. И наблюдателю остается лишь взять итоговую информацию с дисплея экрана устройства. Следующий импульс может быть послан, только после исчезновения эха от предыдущего. Это время называется периодом цикла (cycle period). Рекомендованный период между импульсами должен быть не менее 50 микросекунд, из-за возможности создания паразитных эхо, которые будут наслаиваться и искажать информацию. Так же сам датчик не в состоянии быстрее считывать и обрабатывать информацию.

Наглядно представлен (рис.13) поэтапный план данного процесса. На вход подается импульс длительностью 10 мс. Далее устройство генерирует 8 таких импульсов по 40 кГц через T. Звуковая волна распространяется широко направленной волной в 30° до измеряемого объекта, отражается и попадает обратно в R. Echo формирует импульс, длительность которого прямо пропорциональна измеренному расстоянию. А точнее это все будет переводиться контроллером по формуле: $\text{мкс} \div 58 (6) = \text{см}$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 42 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

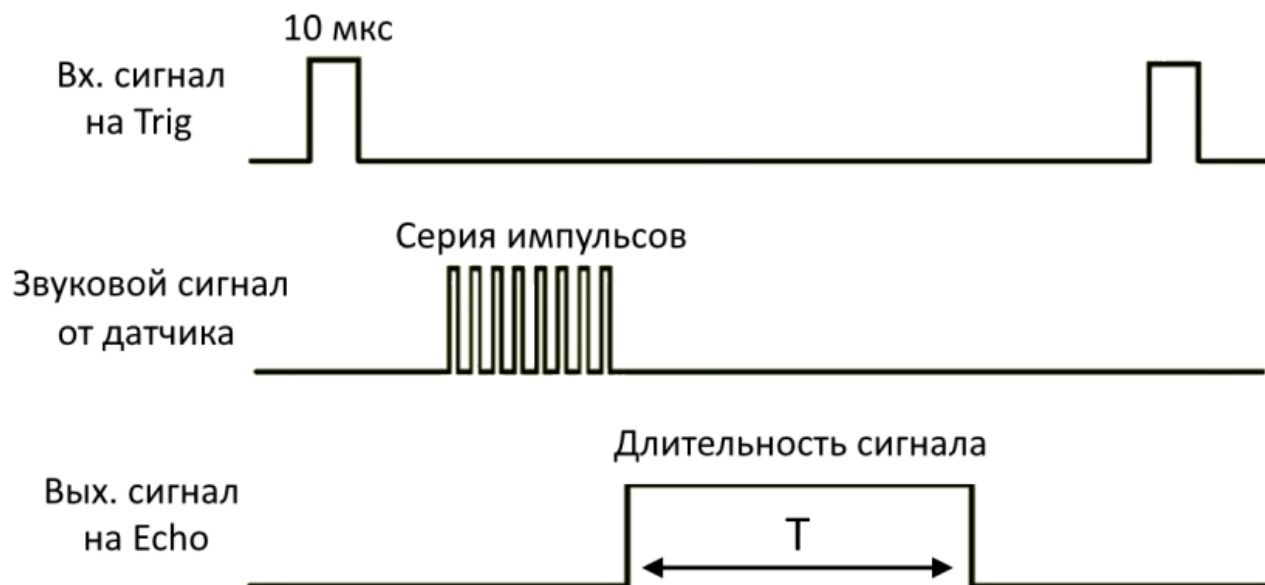


Рис 13. Временная диаграмма работы УЗД

Итогом будет вывод информации на экран датчика. Известно, что датчик лишь генерирует выходящие импульсы и измеряет входящие.

9. РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ

9.1 Зависимость распространения звука от изменений окружающей среды

Известно, что:

$$S = v_{\text{зв}} \cdot t, \quad (1)$$

где S – расстояние до объекта,

– скорость звука,

$v_{\text{зв}}$

– время движения волны от датчика до объекта.

t

Работа датчика заключается на подаче сигнала туда и обратно, следовательно, формула движения волны от датчика до объекта преобразуется:

$$t = \frac{T}{2}, \quad (2)$$

где $T/2$ – время движения волны от датчика до объекта, поделенное на 2, так как нам нужно расстояние лишь в 1 сторону.

В итоге получаем выражение справедливое для ультразвукового датчика измерения расстояния и которое мы потом будем преобразовывать в код:

$$S = \frac{v_{\text{зв}} T}{2}. \quad (3)$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|-------|
| | | | | | BM611.42157.001 ПЗ | Аркуш |
| | | | | | | 44 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Нам нужно найти период запуска и считывания сигнала. Для выбранного датчика справедливо приравнять 1 заряд к 10^{-6} , так как это обособливается

характеристиками датчика:

$$S = \frac{v_{зв} T_T \cdot 10^{-6}}{2}, \quad (4)$$

где $T_T \cdot 10^{-6}$ – количество отсчётов периода в мкс.

Преобразуем уравнение в запись будущего кода, который зависит от распространения звука в среде, имеющей различные влажность и температуру. Переведем расстояние в см. И получаем:

$$S_{см} = 0,017 \cdot T_T. \quad (5)$$

Поскольку микроконтроллер не может и в нем не предусмотрены операции с плавающей запятой, то 0,017 заменяем на взаимно обратное число:

$$S_{см} = \frac{T_T}{58.8}. \quad (6)$$

Формула (6) используется в коде, который светится в любом скетче Arduino.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|-------|
| | | | | | ВМ611.42157.001 ПЗ | Аркуш |
| | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 45 |

9.2 Зависимости скорости звука от температуры

Известно (рис.14), что скорость прохождения звуковой волны в газах (и воздухе) увеличивается при измерении температуры (при изменении на $\pm 1^{\circ}\text{C}$ скорость звука увеличивается на $\pm 0,6 \text{ м/с}$).

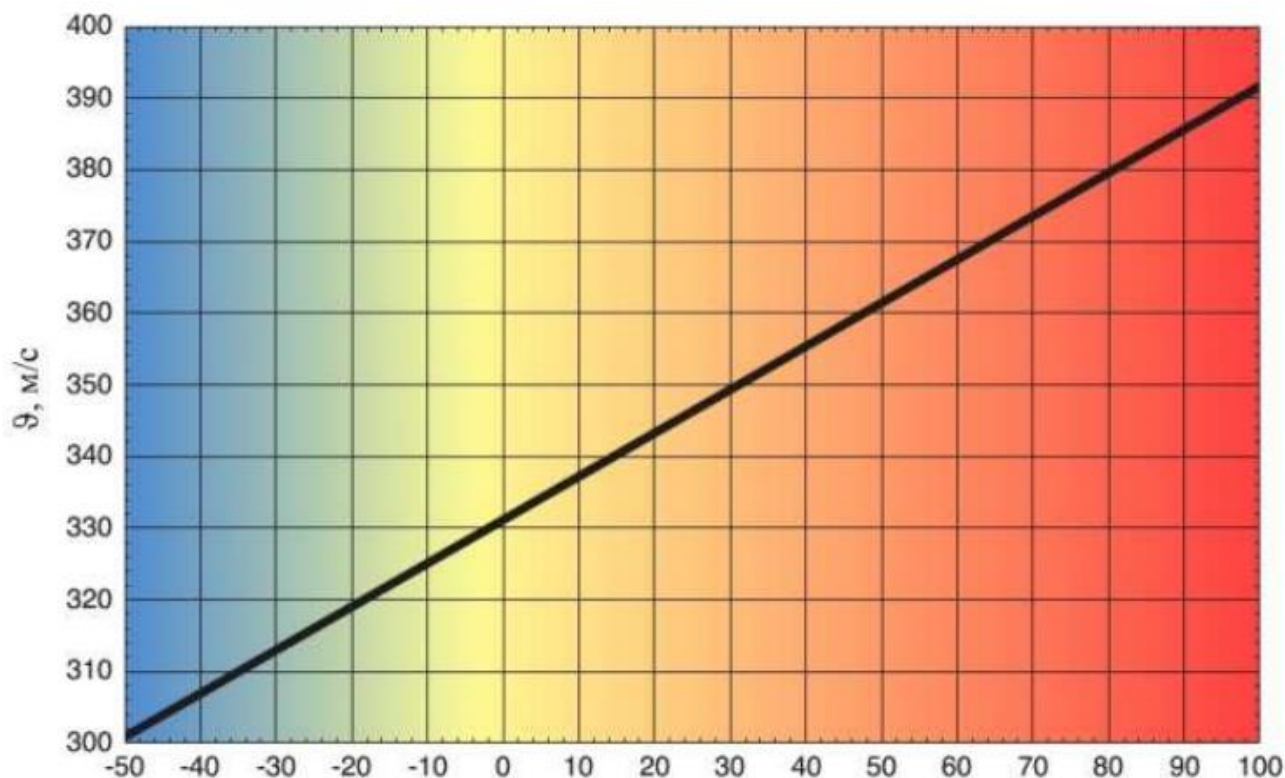


Рис 14. График зависимости скорости звука от температуры

Ультразвуковой дальномер HC-SR04 не имеет встроенного датчика температуры и влажности, поэтому необходимо провести его калибровку. Проведем расчет погрешности дальномера HC-SR04 в теоретическом пространстве, то есть, при измерении трех значений расстояния:

реальное – 12 сантиметров

калибровочное – 100 сантиметров

заданное – 500 сантиметров.

10. МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ДАТЧИКА

При расчете не учитывалось влияние загрязнённости воздуха мелкодисперсными частицами, поэтому можно обратиться к показаниям датчика при разной температуре и влажности.

Для нормальной работы датчика стоит учитывать траекторию представить распространения широконаправленной волны сигнала ультразвукового датчика. Если весь процесс работы представить в виде геометрической фигуры, то это – равнобедренный треугольник (рис.15).

Для нахождения высоты h , применяем теорему Пифагора:

$$h^2 = a^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2, \quad (7)$$

где h – высота равнобедренного треугольника, в нашем случае это и есть расстояния самого датчика (не части его) до объекта,

a – расстояние пройденной от передатчика до объекта или от того самого объекта до приемника,

b – расстояние от приемника до передатчика (в нашем случае для ультразвукового датчика HC-SR04 = 2,6 см).

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 47 |

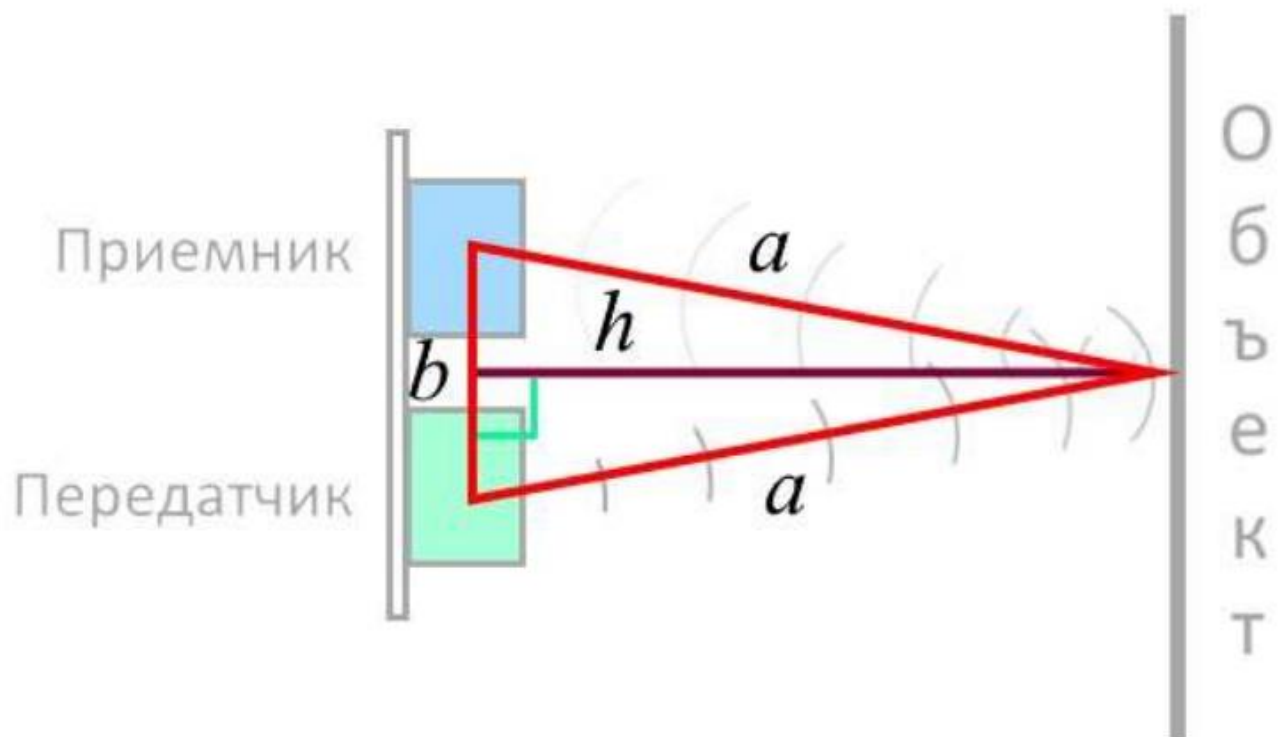


Рис. 15. Траектория распространения широко направленной волны сигнала ультразвукового датчика

Поскольку расстояние между приемником и передатчиком ощутимо малое, что является у нас основанием b равнобедренного треугольника, то оно увеличивает погрешность измерения при малых значениях a . Чем ближе находится датчик к объекту, тем быстрее отталкивается волна от объекта и возвращается. Иногда это быстрее возможности датчика считывать и обрабатывать информацию, в следствии чего возможны сбои обработки информации и появление погрешности. Датчик также не сможет считывать сигнал из-за малого расстояния и частой подачи, потому что каждое эхо будет суммироваться и превращаться в какофонию, что приведет к появлению ложных или паразитных эхо сигналов.

Необходимо рассчитать теоретически реальные измерения, которые покажет датчик при расстоянии:

реальное – 12 сантиметров,

калибровочное – 100 сантиметров,

заданное – 500 сантиметров.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|-------|
| | | | | | ВМ611.42157.001 ПЗ | Аркуш |
| | | | | | | 48 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

В техническом задании указанное расстояние равно 5 метрам, а реальное $h = 12$ см:

$$a^2 = \sqrt{12^2 + \frac{2,6^2}{4}} = 12,07 \quad (8)$$

При $h = 100$ см:

$$a^2 = \sqrt{100^2 + \frac{2,6^2}{4}} = 100,002 \quad (9)$$

При $h = 500$ см:

$$a^2 = \sqrt{500^2 + \frac{2,6^2}{4}} = 500,0001 \quad (10)$$

Полученные данные заносим в табл. 5.

Таблица 5

Итоговые сравнения подсчетов

| Реальные измерения см | Теоретические измерения см | Погрешность % | Компенсированная погрешность мм |
|-----------------------|----------------------------|---------------|---------------------------------|
| 12 | 12,07 | 7 | 16 |
| 100 | 100,002 | 0,2 | 4 |
| 500 | 500,0001 | 0,01 | 0,03 |

Производим расчет компенсации погрешности по формуле:

$$S_{hcm} = \sqrt{s_{cm}^2 - 2,25}, \quad (11)$$

где S_{hcm} – преобразованное реальное,

s_{cm} – теоретически найденное.

Далее начинаем калибровку датчика.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 50 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

11. ПОВЕРКА ДАТЧИКА

На первом этапе снимаем показания без калибровки скорости звука (скорость распространения сигнала постоянная) по влажности и температуре. Температуру и влажность поднимали постепенно, наблюдая как откликается датчик и распространяется сигнал. Результаты измерений занесены в табл.6 и проиллюстрированы на рис.16.

Таблица 6

Контрольные измерения

| SoSp | Hum | Tem | sosp10 | SoSp | Hum | Tem | sosp10 |
|------|-------|-------|--------|------|-------|-------|--------|
| 3,85 | 32,00 | 28,00 | 38,50 | 3,89 | 66,00 | 44,00 | 38,90 |
| 3,89 | 32,00 | 28,00 | 38,90 | 4,01 | 65,00 | 44,00 | 40,10 |
| 3,89 | 32,00 | 29,00 | 38,90 | 4,02 | 64,00 | 43,00 | 40,20 |
| 3,88 | 32,00 | 28,00 | 38,80 | 3,93 | 63,00 | 43,00 | 39,30 |
| 3,89 | 32,00 | 28,00 | 38,90 | 3,89 | 61,00 | 42,00 | 38,90 |
| 3,89 | 32,00 | 30,00 | 38,90 | 3,90 | 60,00 | 41,00 | 39,00 |
| 3,89 | 32,00 | 30,00 | 38,90 | 3,90 | 58,00 | 40,00 | 39,00 |
| 4,01 | 71,00 | 45,00 | 40,10 | 4,03 | 57,00 | 39,00 | 40,30 |
| 4,01 | 70,00 | 45,00 | 40,10 | 4,07 | 56,00 | 39,00 | 40,70 |

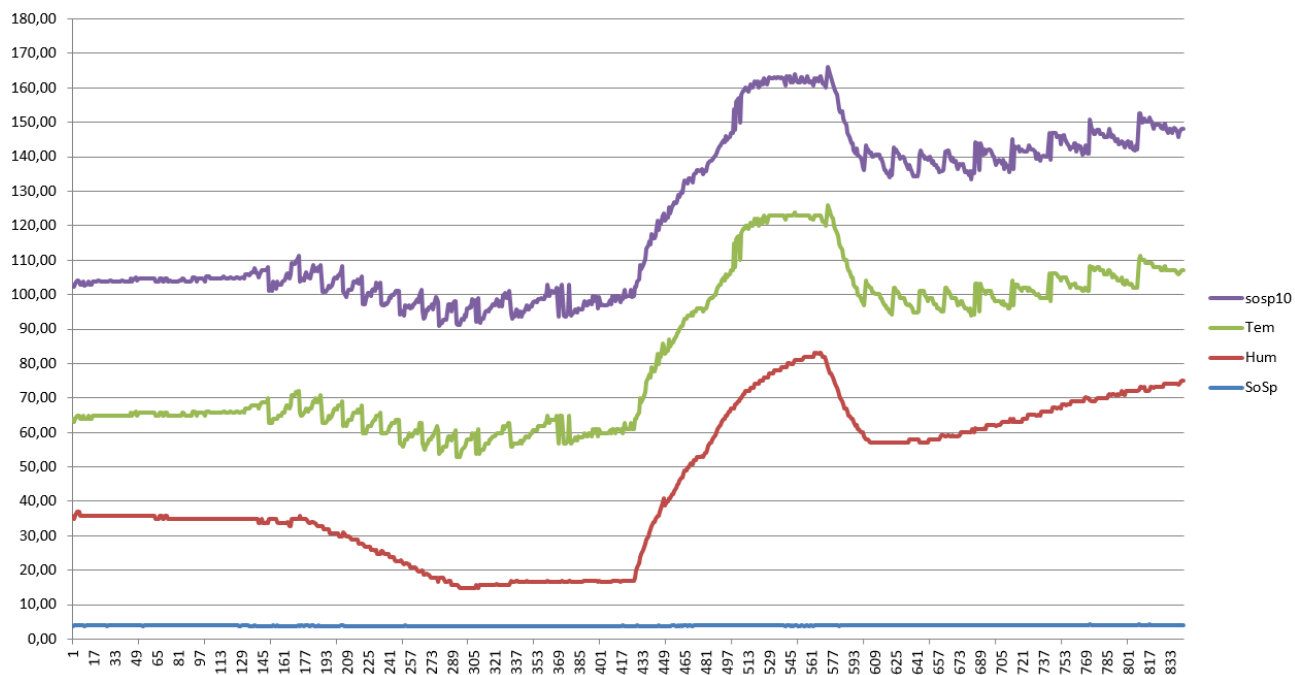


Рис. 16 Контрольные измерения

Где SoSp – скорость звука распространения,
 Tem – температура,
 Hum – влажность.

На графике рис.16 видно, что показания были довольно однородные и постоянные, не смотря на резкие перепады, которые зафиксированы датчиком влажности и температуры. Измерения были проведены для 100 калибровочных см, при изменении температуры от 28 до 45 и от 45 до 32, и увеличение влажности с 32 до 71 %. Результаты измерений доказывают, что данные датчики очень чувствительные к изменениям окружающей среды.

На втором этапе снимаем показания с корректировкой скорости и на малых расстояниях. На рис.17 предоставлен график, который наглядно показывает проделанную работу.

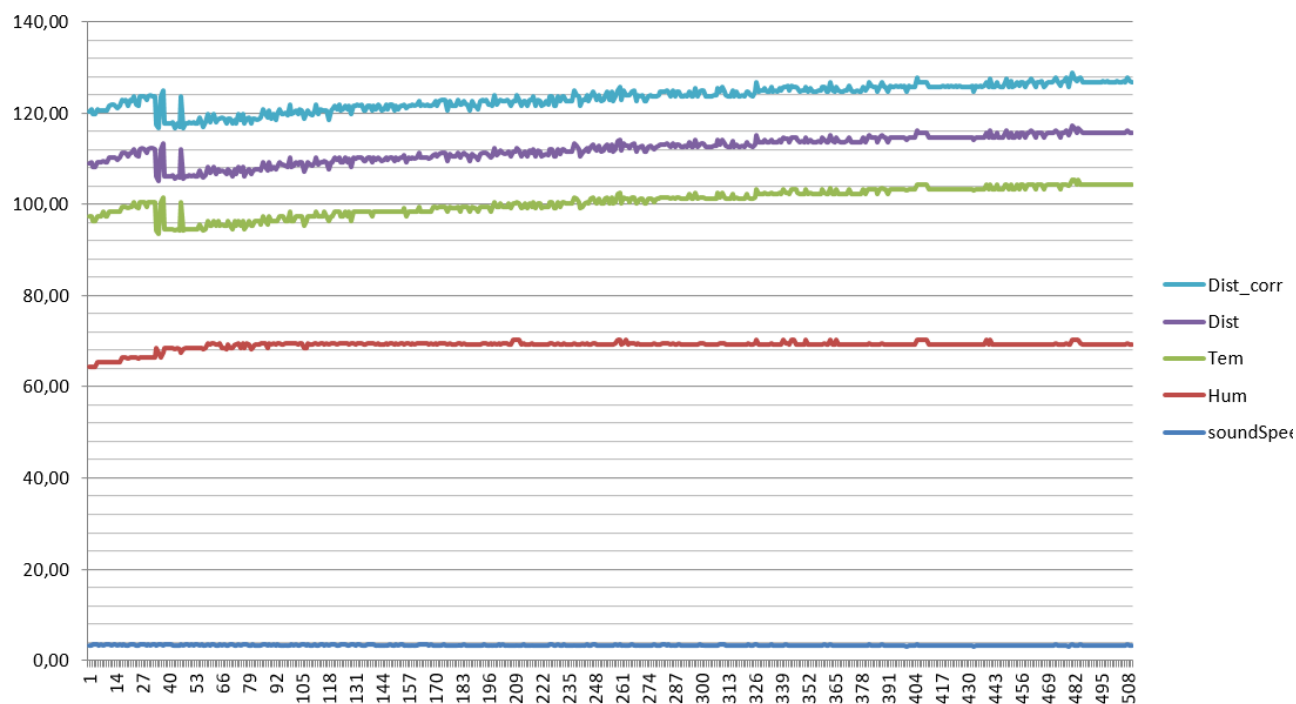


Рис. 17. Снятие показаний с корректировкой на скорость звука

где

SoSp – скорость звука распространения

Tem – температура

Hum – влажность

Dist – идеально замеренное расстояние

Dist_corr – расстояние с корректировкой на влажность и температуру

Таблица 7.

Идеальные и реальные измерения

| soundSpeed | Hum | Tem | Dist | Dist_corr |
|------------|-------|-------|-------|-----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 3,35 | 61,00 | 33,00 | 11,63 | 11,37 |
| 3,42 | 61,00 | 33,00 | 11,88 | 11,61 |
| 3,41 | 62,00 | 32,00 | 11,84 | 11,58 |
| 3,38 | 62,00 | 32,00 | 11,74 | 11,48 |
| 3,25 | 62,00 | 33,00 | 11,30 | 11,05 |
| 3,39 | 62,00 | 32,00 | 11,77 | 11,51 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------|-------|-------|-------|-------|
| 3,39 | 62,00 | 32,00 | 11,77 | 11,51 |
| 3,39 | 62,00 | 33,00 | 11,77 | 11,51 |
| 3,42 | 62,00 | 33,00 | 11,90 | 11,63 |
| 3,39 | 62,00 | 33,00 | 11,79 | 11,53 |
| 3,39 | 62,00 | 33,00 | 11,77 | 11,51 |
| 3,30 | 62,00 | 33,00 | 11,46 | 11,20 |
| 3,39 | 65,00 | 26,00 | 11,79 | 11,53 |
| 3,40 | 66,00 | 34,00 | 11,83 | 11,56 |
| 3,39 | 65,00 | 26,00 | 11,77 | 11,51 |
| 3,39 | 65,00 | 26,00 | 11,77 | 11,51 |

Из представленных результатов очевидно, что на малых расстояниях при корректировке скорости на изменение влажности и температуры погрешность незначительна.

На третьем этапе снимаем показания датчика при разных воссозданных погодных условиях.

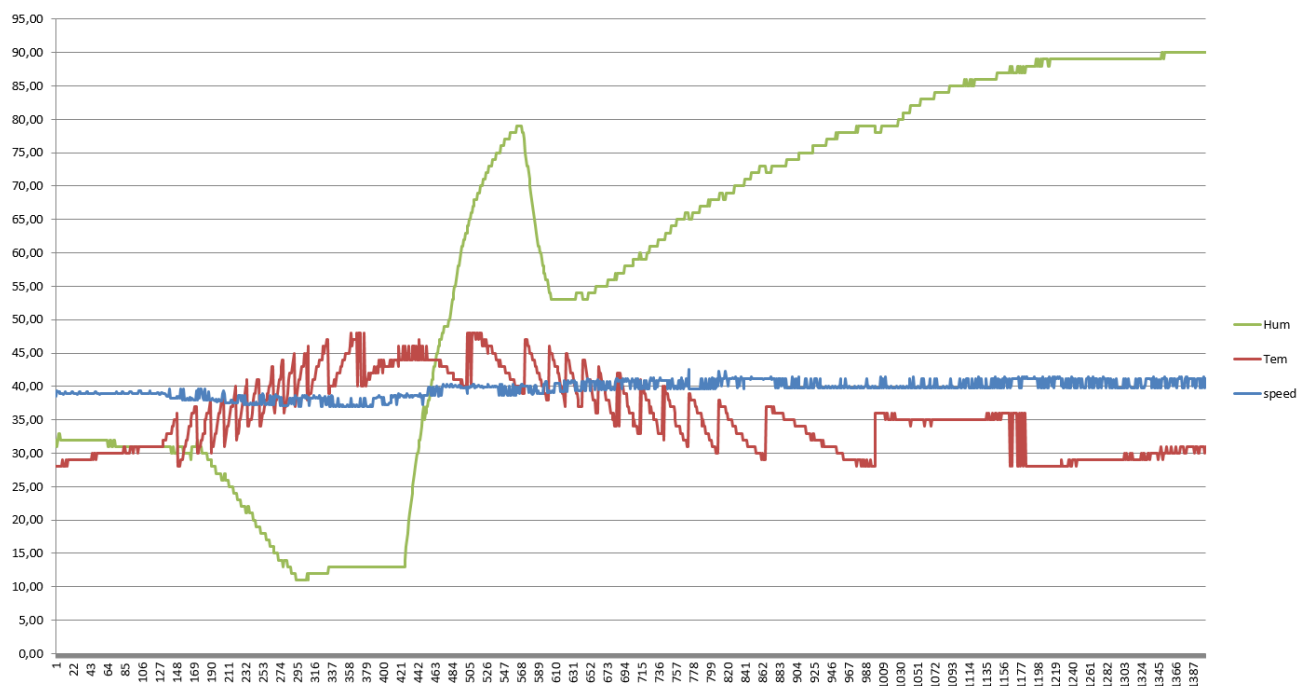


Рис. 18. Снятие показаний датчика при воссозданных погодных условиях

Таблица 8.

Показания датчика при разных погодных условиях

| SoSp | Hum | Tem | speed |
|------|-------|-------|-------|
| 3,85 | 32,00 | 28,00 | 38,5 |
| 3,92 | 33,00 | 28,00 | 39,2 |
| 3,89 | 32,00 | 28,00 | 38,9 |
| 3,92 | 32,00 | 28,00 | 39,2 |
| 3,89 | 32,00 | 29,00 | 38,9 |
| 3,89 | 32,00 | 28,00 | 38,9 |
| 3,89 | 32,00 | 28,00 | 38,9 |
| 3,89 | 32,00 | 29,00 | 38,9 |
| 3,89 | 31,00 | 30,00 | 38,9 |
| 3,89 | 31,00 | 31,00 | 38,9 |
| 3,89 | 31,00 | 31,00 | 38,9 |
| 4,01 | 67,00 | 35,00 | 40,1 |
| 3,97 | 67,00 | 34,00 | 39,7 |
| 3,97 | 67,00 | 34,00 | 39,7 |

Из представленных результатов видно, что система работает без перебоев при любой окружающей среде. Распространение ультразвука в среде с корректировкой на температуру и влажность стабильное без выявления погрешности

На заключительном этапе после калибровки системы и внесения вправок на корректировку по изменению окружающей среды мы делаем замер на выявление влияния погрешности датчика.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 55 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

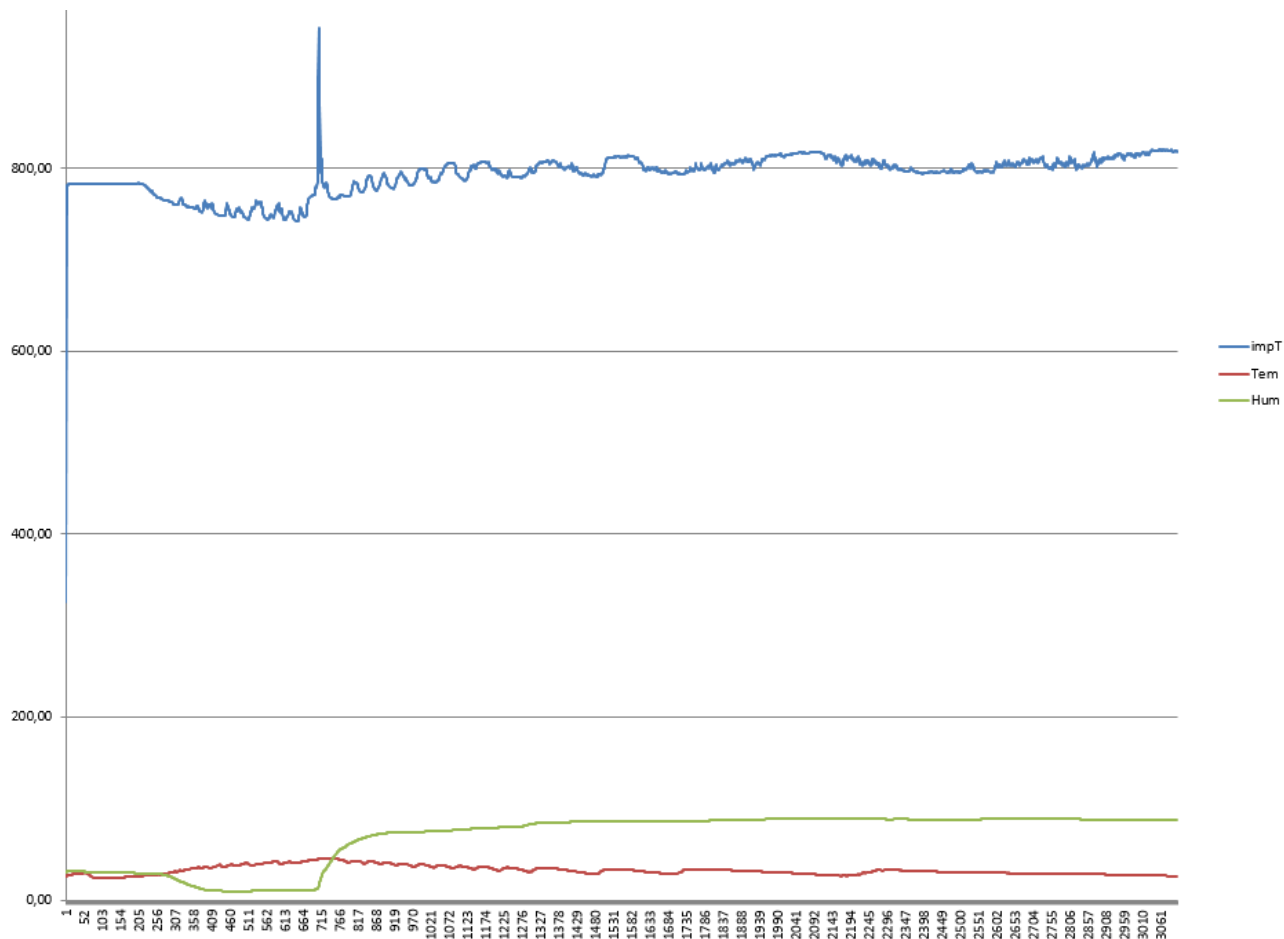


Рис. 19. Выявление влияния погрешности

Таблица 9.

Расчет импульсов на выявленной погрешности

| impT | Tem | Hum |
|--------|-------|-------|
| 325,89 | 25,62 | 30,40 |
| 776,80 | 25,62 | 30,40 |
| 780,11 | 26,82 | 30,70 |
| 781,12 | 27,22 | 31,14 |
| 781,58 | 27,43 | 31,36 |
| 781,94 | 27,55 | 31,49 |
| 782,17 | 27,63 | 31,58 |
| 782,30 | 27,68 | 31,64 |
| 782,38 | 27,72 | 31,69 |
| 782,44 | 27,76 | 31,73 |

Из данных выше, мы выявили, что возникают условия, когда датчик измерения температуры и влажности не успевает пересчитать входящую информацию (в нашем случае температурный резистор не успел охладиться, когда уже нагрузили резистор влажности) и у системы случается вспышка резонансной погрешности.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 57 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

12. РАЗРАБОТКА КОДА

Поскольку я работала в онлайн инструменте Arduino Web Editor, то среда разработки (именно где пишется сам код) состоит из собственно где пишется код, панели инструментов для редактирования и дополнительных возможностей, а так же из популярных библиотек или ваших скетче (рисю20).

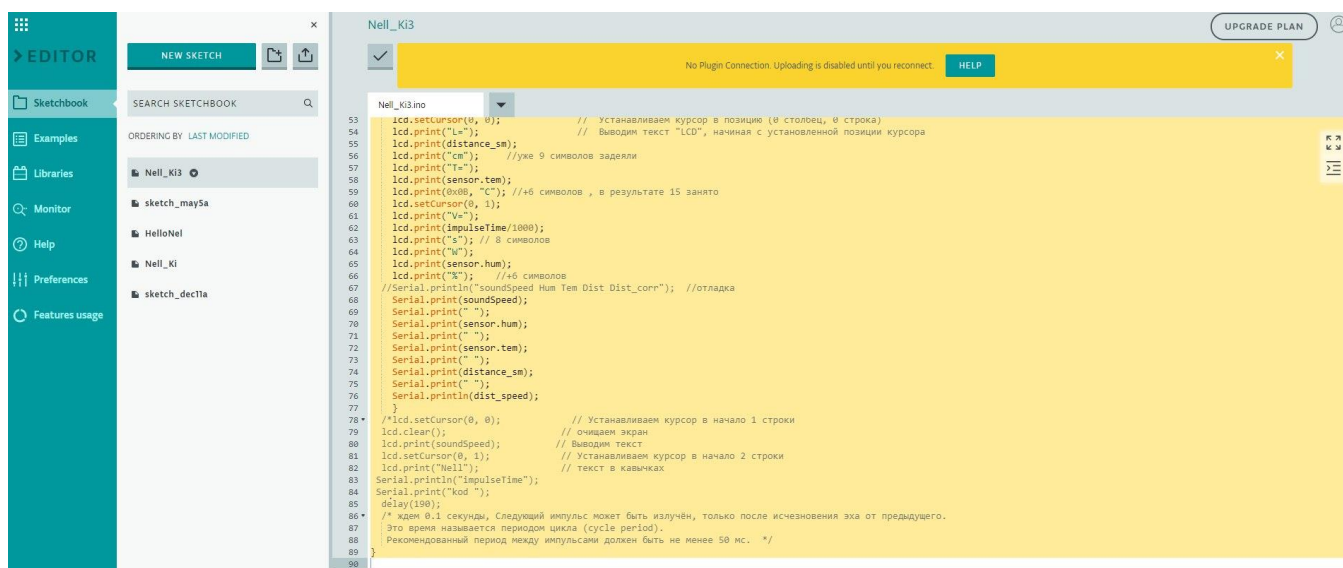



Рис. 20.Рабочая поверхность Arduino Web Editor

Чтобы загрузить программу, которую вы написали в данном текстовом редакторе, то нужно подключить микроконтроллер платы Arduino и выкачать на него скетч. Онлайн инструмен Arduino Web Editor самостоятельно вычисляет какой именно микроконтроллер вы подключили.

Конечно же, даже в онлайн инструменте есть окно под отчет об ошибках в ваших скетчах или алгоритме действия. А еще, в отличии от скаенной программы,онлайн инстурмент Arduino Web Editor предлагает статьи участников форума Arduino или статьи помощь от официального сайта Arduino

В данном текстовом онлайн редакторе есть такие кнопки панели инструментов, как:

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|-------|
| | | | | | ВМ611.42157.001 ПЗ | Аркуш |
| | | | | | | 58 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

« Verify/Compile


Проверка программного кода на ошибки, компиляция.

 Stop

Остановка мониторинга Serial monitor

 New

Создание нового скетча.

 Open

Открытие меню доступа ко всем скетчам в блокноте.

 Save

Сохранение скетча.

 Upload to I/O Board

Компилирует программный код и загружает его в устройство Arduino

 Serial Monitor

Открытие мониторинга Serial monitor.

Дополнительные кнопки команд сгруппированы в пять меню:

File,

Edit,

Sketch,

Tools,

Help.

Доступность меню определяется работой, выполняемой в данный момент.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|-------|
| | | | | | BM611.42157.001 ПЗ | Аркуш |
| | | | | | | 59 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

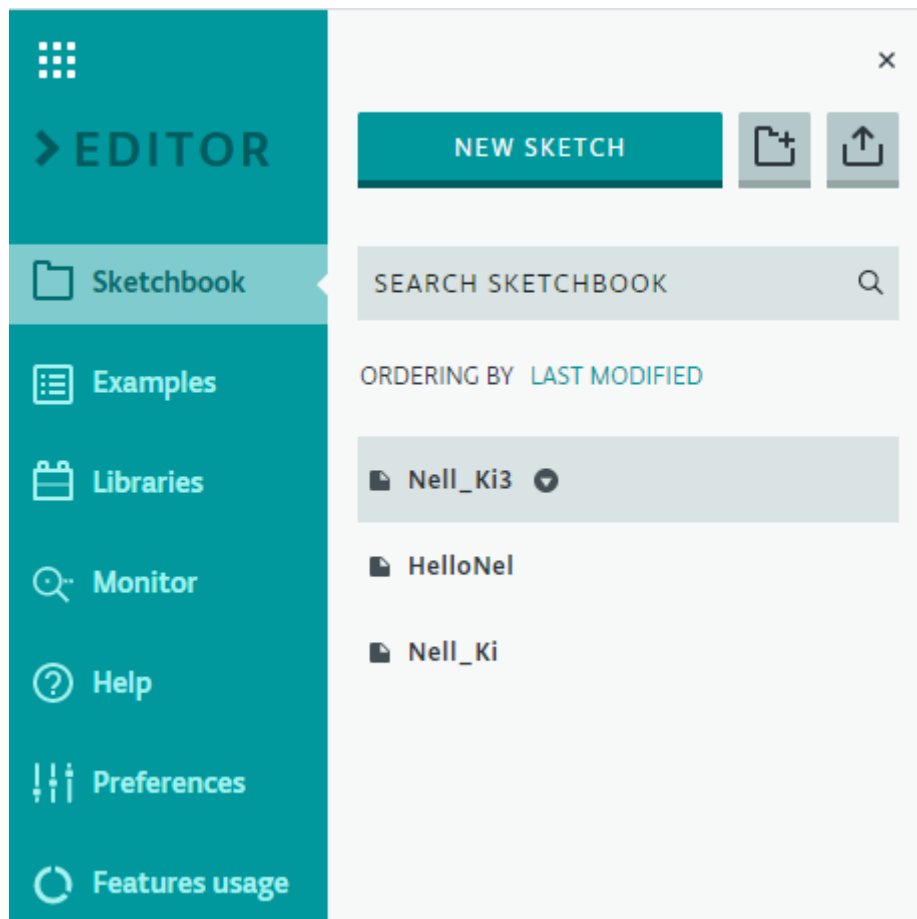


Рис. 21 Кнопки панели инструментов

- *Copy for Discourse*
Копирует в буфер обмена подходящий для размещения на форуме код скетча с выделением синтаксиса.
- *Copy as HTML*
Копирует код скетча в буфер обмена как HTML код, для размещения на веб-страницах.
- *Verify/Compile*
Проверка скетча на ошибки.
- *Import Library*
Добавляет библиотеку в текущий скетч, вставляя директиву `#include` в код скетча.
- *Show Sketch Folder*
Открывает папку, содержащую файл скетча, на рабочем столе.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|-------|
| | | | | | BM611.42157.001 ПЗ | Аркуш |
| | | | | | | 60 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- *Add*

File...

Добавляет файл в скетч (файл будет скопирован из текущего места расположения). Новый файл появляется в новой закладке в окне скетча. Файл может быть удален из скетча при помощи меню закладок.

12.1 Tools

- *Auto*

Format

Данная опция оптимизирует код, например, выстраивает в одну линию по вертикали открывающую и закрывающую скобки и помещает между ними утверждение.

- *Board*

Выбор используемой платформы. Список с описанием платформ приводится ниже.

- *Serial*

Port

Меню содержит список последовательных устройств передачи данных (реальных и виртуальных) на компьютере. Список обновляется автоматически каждый раз при открытии меню Tools.

12.2 Загрузка скетча в Arduino

Перед загрузкой скетча требуется задать необходимые параметры в меню Tools > Board и Tools > Serial Port. В ОС Windows порты могут обозначаться как COM1 или COM2 (для платы последовательной шины) или COM4, COM5, COM7 и выше (для платы USB). Определение порта USB производится в поле Последовательной шины USB Диспетчера устройств Windows.

После выбора порта и платформы необходимо нажать кнопку загрузки на панели инструментов или выбрать пункт меню File > Upload to I/O Board. Современные

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|-------|
| | | | | | BM611.42157.001 ПЗ | Аркуш |
| | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 61 |

платформы Arduino перезагружаются автоматически перед загрузкой. На большинстве плат во время процесса будут мигать светодиоды RX и TX.

При загрузке скетча используется Загрузчик (Bootloader) Arduino, небольшая программа, загружаемая в микроконтроллер на плате. Она позволяет загружать программный код без использования дополнительных аппаратных средств. Загрузчик (Bootloader) активен в течении нескольких секунд при перезагрузке платформы и при загрузке любого из скетчей в микроконтроллер. Работа Загрузчика (Bootloader) распознается по миганию светодиода (13 пин)

12.3 Библиотеки

Библиотеки добавляют дополнительную функциональность скетчам, например, при работе с аппаратной частью или при обработке данных. Для использования библиотеки необходимо выбрать меню Sketch > Import Library. Одна или несколько директив `#include` будут размещены в начале кода скетча с последующей компиляцией библиотек и вместе со скетчем. Загрузка библиотек требует дополнительного места в памяти Arduino. Неиспользуемые библиотеки можно удалить из скетча убрав директиву `#include`.

Некоторые библиотеки включены в среду разработки Arduino. Другие могут быть загружены с различных ресурсов. Для установки скачанных библиотек необходимо создать директорию «libraries» в папке блокнота и затем распаковать архив. Например, для установки библиотеки DateTime ее файлы должны находиться в подпапке /libraries/DateTime папки блокнота.

12.4 Аппаратные средства других разработчиков

Поддерживаемые аппаратные средства других производителей добавляются в соответствующую подпапку папки блокнота. Устанавливаемые платформы могут включать собственные характеристики (в меню платформы), корневые библиотеки, загрузчик(Bootloader) и характеристики программатора. Для

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 62 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

установки требуется распаковать архив в созданную папку. (Запрещено использовать наименование папки "arduino", т.к. могут быть перезаписаны встроенные данные платформы Arduino.) Для деинсталляции данных удаляется соответствующая директория.

12.5 Мониторинг последовательной шины (Serial Monitor)

Отображает данные посылаемые в платформу Arduino (плата USB или плата последовательной шины). Для отправки данных необходимо ввести текст и нажать кнопку Send или Enter. Затем выбирается скорость передачи из выпадающего списка, соответствующая значению Serial.begin в скетче. На ОС Mac или Linux платформа Arduino будет перезагружена (скетч начнется сначала) при подключении мониторинга последовательной шины.

Имеется возможность обмена информацией с платформой через программы Processing, Flash, MaxMSP.

12.6 Платформа программируется посредством ПО Arduino

Из меню Tools > Board выбирается «Arduino Diecimila, Duemilanove или Nano w/ ATmega168» или «Arduino Duemilanove или Nano w/ ATmega328» (согласно установленному микроконтроллеру). Связь осуществляется оригинальным протоколом STK500. Имеется возможность не использовать загрузчик и запрограммировать микроконтроллер через выводы блока ICSP (внутрисхемное программирование).»

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 63 |

13. РАЗРАБОТКА ПРОГРАМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Текст кода

```
#include <iarduino_DHT.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
#define Trig 9 // пины сенсора
#define Echo 8
#define Trig2 7 // пины сенсора2
#define Echo2 6
#define ledPin 13
LiquidCrystal_I2C lcd(0xA7,16,2);
iarduino_DHT sensor(2); // Объявляем объект, указывая номер вывода, к
которому подключён модуль
//=====================================================
float corrections=0; // коррекция. плюс или минус в сантиметрах
//=====================================================
float impulseTime=0; //время импульса
float distance_sm=0; // переменная расстояния
float soundSpeed; //скорость звука
float dist_speed=0; // переменная расстояния
//=====================================================датчик 2=====
float impulseTime2=0; //время импульса

float soundSpeed2; //храним значение после коррекции
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(Trig, OUTPUT); //инициируем как выход
```

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 64 |

```

pinMode(Echo, INPUT); //инициируем как вход
pinMode(Trig2, OUTPUT); //инициируем как выход
pinMode(Echo2, INPUT); //инициируем как вход
lcd.init(); //инициируем экран
Serial.println("soundSpeed Hum Tem Dist Dist_corr");
}
void loop()
{
lcd.backlight();
digitalWrite(Trig, HIGH);    // Подаем импульс на вход trig дальномера
digitalWrite(Trig2, HIGH);
delayMicroseconds(10);      //равный 10 микросекундам
digitalWrite(Trig, LOW);     //Отключаем
digitalWrite(Trig2, LOW);    //Отключаем
impulseTime=pulseIn(Echo, HIGH); //Замеряем длину импульса
//impulseTime2=pulseIn(Echo2, HIGH); //Замеряем длину импульса
distance_sm=impulseTime/57.5; //Пересчитываем в сантиметры как в даташите
dist_speed=(340              *              (impulseTime/10000))/2;
//расстояние=(скорость_зв*(время_мкс/10000))/туда и назад
soundSpeed=(impulseTime/100)/2; //скорость звука=(время прохождения звука /
расстояние 100см )/2Ж(ибо туда и назад)
/* Serial.print("Dist_org="); //отладка
Serial.println(distance_sm);
Serial.print("D_n=");
Serial.println(distance_sm2);*/
if(sensor.read()==DHT_OK){
lcd.println("impulseTime");
lcd.println(impulseTime);

```

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 65 |

```

lcd.setCursor(0, 0);          // Устанавливаем курсор в позицию (0 столбец, 0
                               строка)
lcd.print("L=");              // Выводим текст "LCD", начиная с установленной
                               позиции курсора
lcd.print(distance_sm);
lcd.print("cm");              //уже 9 символов задела
lcd.print("T=");
lcd.print(sensor.tem);
lcd.print(0x0B, "C");         //+6 символов , в результате 15 занято
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("V=");
lcd.print(impulseTime/1000);
lcd.print("s");               // 8 символов
lcd.print("W");
lcd.print(sensor.hum);
lcd.print("%");               //+6 символов
//Serial.println("soundSpeed Hum Tem Dist Dist_corr"); //отладка
Serial.print(soundSpeed);
Serial.print(" ");
Serial.print(sensor.hum);
Serial.print(" ");
Serial.print(sensor.tem);
Serial.print(" ");
Serial.print(distance_sm);
Serial.print(" ");
Serial.println(dist_speed);
}

/*lcd.setCursor(0, 0);        // Устанавливаем курсор в начало 1 строки
lcd.clear();                  // очищаем экран

```

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 66 |

```

lcd.print(soundSpeed);      // Выводим текст
lcd.setCursor(0, 1);        // Устанавливаем курсор в начало 2 строки
lcd.print("Nell");          // текст в кавычках
Serial.println("impulseTime");
Serial.print("kod ");
delay(190);

/* ждем 0.1 секунды, Следующий импульс может быть излучён, только после
исчезновения эха от предыдущего.

Это время называется периодом цикла (cycle period).

Рекомендованный период между импульсами должен быть не менее 50 мс. */
}

```

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 67 |

ВЫВОД

В результате проделанной работы получена ультразвуковая система измерения расстояния на основе отладочной платы Arduino Nano. Также написан программный код для ультразвуковой системы измерения уровня жидкости или сыпучих материалов от расстояния, температуры и влажности с использованием жидкокристаллического дисплея для наглядности вывода результатов измерения.

Также произведены метрологические расчеты и построены графики, которые иллюстрируют достоинства и недостатки работы разработанной системы для расстояний, изменяющихся от 0,12 до 5 м, которые показали, что данную систему возможно использовать для решения широкого диапазона задач.

Во время выполнения данной работы были применены навыки, которые были получены в процессе написания работы:

- Основы ультразвуковых измерений
- Основы проектирования приборов и систем
- Метрология
- Цифро или аналоговые устройства
- Использование датчиков
- Написание программного обеспечения.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 68 |

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихоненков А. С. РАЗРАБОТКА УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ РАССТОЯНИЯ НА БАЗЕ ПЛАТЫ ARDUINO UNO R3 [Электронный ресурс] / А. С. Тихоненков. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://docplayer.ru/64745403-Vypusknaya-kvalifikacionnaya-rabota-bakalavra.html>.
2. Ультразвуковой датчик измерения расстояния HC-SR04 [Электронный ресурс] // <http://www.jurnal.nips.ru/>. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-4-2017-2.pdf>.
3. Ультразвуковой датчик расстояния и Arduino [Электронный ресурс] // Arduino-DIY. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <http://arduino-diy.com/arduino-ultrazvukovoy-datchik-rasstoyaniya>.
4. Ультразвуковой датчик расстояния Ардуино HC-SR04 [Электронный ресурс] // <https://arduinomaster.ru/>. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/ultrazvukovoj-dalnomer-hc-sr04/>.
5. Подключение датчика DHT11 или DHT22 к Ардуино [Электронный ресурс] // <https://arduinomaster.ru/>. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/datchiki-temperature-i-vlazhnosti-dht11-dht22/>.
6. 공부 [AVR] 초음파센서(HC-SR04) 사용하기 [Электронный ресурс] // <https://m.blog.naver.com/PostList.nhn?blogId=bieemiho92>. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: <https://m.blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=bieemiho92&logNo=220642837017&proxyReferer=https:%2F%2Fwww.google.com.ua%2F>.
7. Interfacing HC-SR04 Ultrasonic Distance Sensor with ATmega32 Microcontroller [Электронный ресурс] // <https://electrosome.com/author/amandeep/>. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://electrosome.com/ultrasonic-distance-sensor-atmega32/>.
8. Distance Measurement using HC-SR04 and AVR Microcontroller [Электронный ресурс] // <https://circuitdigest.com/users/dilip-raja>. – 2017. – Режим доступа до

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 69 |

ресурсу: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/distance-measurement-using-hc-sr04-avr>.

9. Среда разработки Arduino [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://arduino.ru/Arduino_environment.

10. Arduino Nano [Электронный ресурс] // <http://arduino.ru/> – Режим доступа до ресурсу: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardNano>.

11. Подключение дисплея LCD 1602 к arduino по i2c / ПС [Электронный ресурс] // <https://arduino-master.ru/> – Режим доступа до ресурсу: <https://arduino-master.ru/datchiki-arduino/lcd-i2c-arduino-display-ekran/>.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 70 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

АЛГОРИТМ ПРОГРАММЫ

Ниже на рис.22 предоставлен алгоритм работы моего устройства

Алгоритм программы:

- Активация дисплея, датчиков температуры и влажности и самого ультразвукового датчика
- Затем генерирование одного импульса, одновременно начинается запуск таймера
- Считывание эха от объекта
- Вычисление расстояния
- Задержка в 10 мкс
- Проверка включенности устройства
- Если кнопка не выключена, то вывести итог на дисплей
- Если нажата, то отключение отсчета

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|-------|
| | | | | | <i>BM611.42157.001 ПЗ</i> | Аркуш |
| | | | | | | 71 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

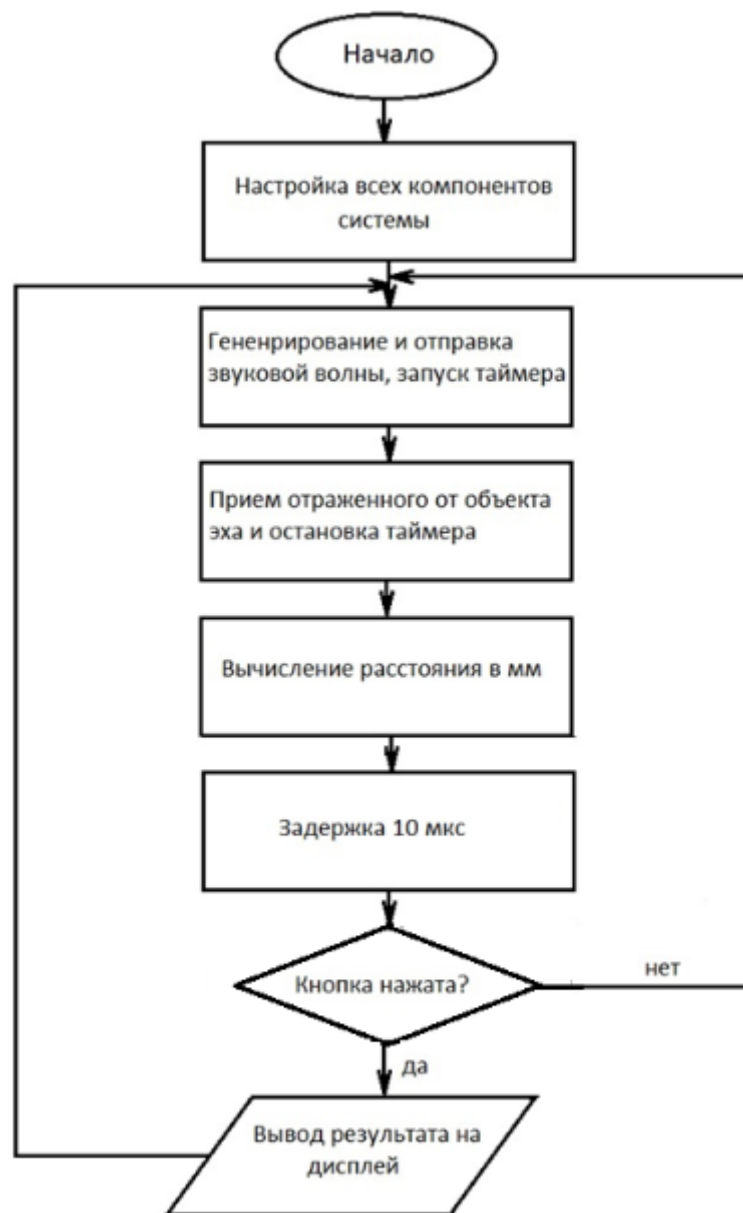


Рис. 22 Алгоритм программы